



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**  
**DE SISTEMAS – TRANSPORTE**

Análisis de las Operaciones Logísticas de Adquisición y de Transporte. El caso de una empresa de servicios de electricidad.

**TESIS**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
**LIC. OSCAR FLORES BÁRCENAS**

TUTOR: DR. BENITO SÁNCHEZ LARA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Aceves García Ricardo

Secretario: Dr. Chías Becerril Luis

Vocal: Dr. Sánchez Lara Benito

1<sup>er</sup> Suplente: M. I. Reséndiz López Héctor Daniel

2<sup>do</sup> Suplente: Dr. Torres Mendoza Ricardo

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: CIUDAD DE MÉXICO

TUTOR DE TESIS:

DR. BENITO SÁNCHEZ LARA



---

FIRMA

# ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen .....	8
Introducción.....	9
<b>CAPÍTULO 1. Generación y manejo de residuos sólidos en la Ciudad de México .....</b>	<b>10</b>
1.1 Factores relacionados con la generación de residuos sólidos .....	12
1.2 Clasificación de los residuos sólidos.....	15
1.3 Manejo de los residuos sólidos .....	17
1.4 Separación de Residuos Sólidos Urbanos .....	23
1.5 Residuos metálicos.....	25
1.5.1 Metales ferrosos .....	26
1.5.2 Metales no ferrosos .....	28
1.6 Caso de estudio. Una empresa generadora de residuos metálicos. ....	29
1.6.1 Descripción de la empresa y servicios que realiza .....	29
1.6.2 Generación y manejo de residuos en la empresa caso de estudio .....	35
1.6.3 Oportunidades de eficiencia logística en el manejo de los residuos de la empresa caso de estudio.....	39
1.6.4 Problema, justificación, alcance y objetivo de la tesis .....	43
<b>CAPÍTULO 2. Balance costo-beneficio y Operaciones Logísticas de Adquisición y Transporte .....</b>	<b>46</b>
2.1 Cadenas de Suministro Inversas.....	47
2.1.1 Caracterización de Cadenas de Suministro Inversas.....	48
2.2 Operaciones Logísticas de Adquisición .....	50
2.3 Valorización de residuos .....	50
2.4 Operaciones Logísticas de Transporte .....	53
2.5 Balance de costo-beneficio .....	54
2.6 Estrategia de investigación.....	61
<b>CAPÍTULO 3. Análisis Balance Costo-Beneficio .....</b>	<b>67</b>
3.1 Caracterización de Cadena de Suministro Inversa de la empresa caso de estudio .....	67
3.1.1 Naturaleza .....	67
3.1.2 Procesos .....	70
3.1.3 Canales .....	82
3.1.4 Agentes.....	82
3.2 Análisis de Operaciones Logísticas de Adquisición .....	84
3.2.1 Almacenamiento temporal .....	84

3.2.2 Manejo de materiales .....	92
3.3 Análisis de Operaciones Logísticas de Transporte .....	95
3.3.1 Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo .....	95
3.3.2 Diseño de la red de transporte.....	98
3.3.3 Actuación de Agentes Logísticos.....	106
3.4 Análisis de balance de costo-beneficio .....	109
<b>CAPÍTULO 4. Conclusiones .....</b>	<b>112</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 1. Estimación de espacio de almacenamiento .....</b>	<b>122</b>
<b>Anexo 2. Estimación en la generación de cobre y espacio requerido.....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo 3. Costos unitarios.....</b>	<b>124</b>
<b>Anexo 4. Dirección de alternativas de Centro de Acopio .....</b>	<b>125</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FUENTE DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CDMX (2019) .....	10
FIGURA 3. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CDMX DE 2010 A 2019 (TON/DÍA) .....	11
FIGURA 4. GENERACIÓN DE RSU FRENTE A LA CANTIDAD DE HABITANTES POR ALCALDÍA (CDMX-2018).....	13
FIGURA 5. GENERACIÓN DE RSU FRENTE A LA GENERACIÓN PER CÁPITA POR ALCALDÍA (CDMX-2018).....	13
FIGURA 6. UNIDADES ECONÓMICAS FRENTE A LA GENERACIÓN DE RSU POR ALCALDÍA (CDMX-2018) .....	14
FIGURA 7. CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS RECIBIDOS EN ET 2019 (TON) .....	18
FIGURA 8. CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS ENVIADOS A ET POR ALCANDÍA 2019 (TON) .....	18
FIGURA 9. DESTINO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS A PARTIR DE LAS ET 2018 (TON) .....	19
FIGURA 10. ORIGEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ENVIADOS A PLANTAS DE SELECCIÓN (2018) .....	20
FIGURA 11. RESULTADO DE LOS RESIDUOS EN LAS PLANTAS DE SELECCIÓN 2018 (TON) .....	20
FIGURA 12. ORIGEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS INGRESADOS EN PLANTAS DE COMPACTACIÓN 2018 (TON) .....	21
FIGURA 13. ORIGEN DE LOS RESIDUOS DESTINADOS A SDF 2018 (TON) .....	22
FIGURA 14. DESTINO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN SDF 2018 (TON) .....	23
FIGURA 15. RESIDUOS INORGÁNICOS CON POTENCIAL DE RECICLAJE .....	24
FIGURA 16. RESIDUOS INORGÁNICOS CON POTENCIAL DE RECICLAJE (2019) .....	24
FIGURA 17. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS INORGÁNICOS CON POTENCIAL DE RECICLAJE (2019) .....	25
FIGURA 18. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS METÁLICOS.....	26
FIGURA 19. GENERACIÓN DE RESIDUOS METÁLICOS EN MILES DE TONELADAS (2010-2019).....	29
FIGURA 20. FICHA TÉCNICA DE LA EMPRESA DE SERVICIOS DE ELECTRICIDAD .....	32
FIGURA 21. USOS MIXTOS Y HABITACIONALES DE LAS INSTALACIONES (PLANTA BAJA Y 1ER PISO).....	34
FIGURA 22. USO EMPRESARIAL DE LAS INSTALACIONES (2DO PISO) .....	34
FIGURA 23. TUBOS GALVANIZADOS.....	37
FIGURA 24. RESIDUOS GENERADOS POR LA EMPRESA DE SERVICIOS DE ELECTRICIDAD.....	39
FIGURA 25. FLUJO DIRECTO E INVERSO EN UNA CADENA DE SUMINISTRO .....	47
FIGURA 26. COSTOS Y BENEFICIOS DE LOGÍSTICA INVERSA.....	59
FIGURA 27. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN .....	62
FIGURA 28. LÍNEA DEL TIEMPO DE RECOLECCIÓN DE LOS DATOS.....	65
FIGURA 29. EJEMPLO DE PIEZAS DE ENSAMBLE .....	67
FIGURA 30. CABLE DE COBRE.....	68
FIGURA 31. TUBO DE ACERO GALVANIZADO DE 3 M. ....	70
FIGURA 32. ROLLO DE CABLE DE COBRE DE 100 M. ....	71
FIGURA 33. RESIDUOS DE CABLE DE COBRE Y TUBOS GALVANIZADOS.....	71
FIGURA 34. ALMACÉN DE RECICLAJE .....	73
FIGURA 35. ALMACÉN DE RECICLAJE DE CABLE DE COBRE CON RECUBRIMIENTO .....	74
FIGURA 36. ALMACENAJE DE CABLE SIN RECUBRIMIENTO EN CAJA DE PLÁSTICO.....	74
FIGURA 37. ESPACIO PARA EL ACOPIO DE CABLE VALORIZADO.....	75
FIGURA 38. ZONA DE MANIPULACIÓN DE MATERIALES .....	76
FIGURA 39. PROCESO DE TRASLADO DE MATERIALES .....	77
FIGURA 40. COMPARATIVA EN DIÁMETRO DE CALIBRES AWG.....	78
FIGURA 41. MÁQUINA DESFORRADORA DE CABLE.....	78
FIGURA 42. ESTIRAMIENTO DE CABLE CON RECUBRIMIENTO.....	79
FIGURA 43. PELADO DE CABLE CON MÁQUINA DESFORRADORA .....	80
FIGURA 44. CAJA DE PLÁSTICO PARA ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS.....	80
FIGURA 45. EMPAQUETADO DE CABLE SIN RECUBRIMIENTO .....	81
FIGURA 46. AGENTES QUE INTERVIENEN EN LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA DEL CASO DE ESTUDIO .....	83
FIGURA 47. ESPACIO LIBRE EN LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA.....	88
FIGURA 48. RUTA DE TRANSPORTE .....	98

FIGURA 49. UBICACIÓN GEOESPACIAL DE LAS ALTERNATIVAS DE CENTRO DE ACOPIO .....	99
FIGURA 50. UBICACIÓN GEOESPACIAL DE LAS 10 ALTERNATIVAS DE CENTRO DE ACOPIO MÁS CERCANAS AL ALMACÉN TEMPORAL .....	100
FIGURA 51. ALTERNATIVAS NO LOCALIZABLES DE CENTRO DE ACOPIO .....	100
FIGURA 52. CENTRO DE ACOPIO SANTOS VALDEZ .....	101
FIGURA 53. CENTRO DE ACOPIO RECICLA Y JUEGA S.A. DE C.V. ....	101
FIGURA 54. CENTRO DE RECICLAJE DE MIGUEL ÁNGEL DE QUEVEDO DE CENTROS DE RECICLAJE RECUPERA S.A. DE C.V.....	102
FIGURA 55. RED DE TRANSPORTE CON LA ALTERNATIVA DE CENTRO DE ACOPIO SANTOS VALDEZ.....	103
FIGURA 56. RED DE TRANSPORTE CON LA ALTERNATIVA DE CENTRO DE ACOPIO RECICLA Y JUEGA .....	103
FIGURA 57. RED DE TRANSPORTE CON LA ALTERNATIVA DE CENTRO DE ACOPIO RECUPERA.....	104

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CALIBRES MÁS UTILIZADOS POR LA EMPRESA DE SERVICIOS DE ELECTRICIDAD .....	36
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE COBRE .....	36
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS .....	69
TABLA 4. CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS Y VALORIZADOS POR PERIODO .....	81
TABLA 5. COSTOS DE ALMACENAMIENTO EN EL AÑO 2021 .....	85
TABLA 6. CRECIMIENTO ESTIMADO DEL ACOPIO DE RESIDUOS .....	86
TABLA 7. ESTIMACIÓN DE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO REQUERIDO .....	86
TABLA 8. COSTOS ESTIMADOS DE MANO DE OBRA EN UN CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO .....	87
TABLA 9. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE ALMACENAMIENTO A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO .....	87
TABLA 10. COSTO TOTAL ESTIMADO DE LA ALTERNATIVA 1 .....	89
TABLA 11. COMPARACIÓN DE COSTOS DE ALMACENAMIENTO CON ALTERNATIVA 1 .....	89
TABLA 12. COMPARACIÓN DE COSTOS DE ALMACENAMIENTO CON ALTERNATIVA 2 .....	90
TABLA 13. COMPARACIÓN DE COSTOS DE ALMACENAMIENTO CON ALTERNATIVA 3 .....	90
TABLA 14. COMPARACIÓN DE COSTOS DE ALMACENAMIENTO CON ALTERNATIVA 4 .....	91
TABLA 15. COMPARACIÓN DE DIFERENCIA EN COSTOS DE ALMACENAMIENTO DE LAS 4 ALTERNATIVAS .....	91
TABLA 16. REGISTRO DE TIEMPO Y COSTO EN EL MANEJO DE MATERIALES (17-SEP-21) .....	93
TABLA 17. CANTIDAD DE COBRE DE 1ª Y COBRE DE 2ª CLASIFICADO EN EL PRIMER PERIODO (MARZO 2021) .....	93
TABLA 18. UTILIDAD EN LA LIMPIEZA DE COBRE DE 2ª .....	94
TABLA 19. ANÁLISIS DE COSTOS EN LA GESTIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD DEL VEHÍCULO (500KG) .....	96
TABLA 20. ANÁLISIS DE COSTOS EN LA GESTIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD DEL VEHÍCULO (1,500KG) .....	97
TABLA 21. COMPARACIÓN EN COSTO, BENEFICIO Y UTILIDAD EN LA VALORIZACIÓN DE 1,500KG DE RESIDUOS .....	97
TABLA 22. TOP 10 DE CENTROS DE ACOPIO MÁS CERCANOS AL ALMACÉN TEMPORAL .....	99
TABLA 23. ALTERNATIVAS DE CENTRO DE ACOPIO QUE CUMPLEN CON LOS REQUERIMIENTOS .....	102
TABLA 24. COSTOS DE ENVÍO DE ALTERNATIVAS DE CENTRO DE ACOPIO .....	104
TABLA 25. COSTOS TOTALES DE ALTERNATIVAS DE CENTRO DE ACOPIO .....	104
TABLA 26. BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS DE CENTRO DE ACOPIO .....	105
TABLA 27. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE ALTERNATIVAS DE CENTROS DE ACOPIO .....	105
TABLA 28. COSTO DE COMBUSTIBLE DE LAS ALTERNATIVAS DE AGENTES LOGÍSTICOS .....	107
TABLA 29. COSTO DE PERSONAL DE TRASLADO DE LAS ALTERNATIVAS DE AGENTES LOGÍSTICOS .....	107
TABLA 30. COSTOS DE ENVÍO DE ALTERNATIVAS DE AGENTES LOGÍSTICOS .....	107
TABLA 31. COSTOS TOTALES DE ALTERNATIVAS DE AGENTES LOGÍSTICOS .....	108
TABLA 32. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE ALTERNATIVAS DE AGENTES LOGÍSTICOS .....	108
TABLA 33. COSTOS DE ALMACENAMIENTO EN BALANCE GENERAL .....	110
TABLA 34. COSTOS DE MANEJO DE MATERIALES EN BALANCE GENERAL .....	110
TABLA 35. BALANCE GENERAL DE COSTOS Y BENEFICIOS .....	111

## Resumen

En la Ciudad de México (CDMX) se generan diariamente miles de toneladas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y más de la mitad son transportadas a Sitios de Disposición Final (SDF) eliminando la posibilidad de valorización, reciclaje o reutilización.

La principal fuente de generación de RSU en la CDMX es la domiciliaria. Los materiales que cuentan con mayor posibilidad de valorización se clasifican en residuos con potencial de reciclaje, siendo los terceros de mayor generación los metálicos, sin embargo, se aprovecha una mínima cantidad.

La valorización de los residuos es factible en Cadenas de Suministro Inversas (CSI) mediante operaciones logísticas de adquisición y transporte. Su caracterización permite identificar áreas de oportunidades logísticas y establecer alternativas que impulsen mejoras dentro del proceso de valorización de los residuos.

El presente documento caracteriza las operaciones logísticas de adquisición y transporte de una empresa eslabón de una CSI que valoriza residuos metálicos; describe las operaciones que agregan valor a los residuos e identifica las vulnerabilidades logísticas en los procesos de almacenamiento temporal, manejo de materiales, gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo, diseño de la red de transporte y actuación de agentes logísticos y realiza un análisis costo-beneficio para establecer y evaluar las alternativas que inciden, no sólo en la empresa caso de estudio, sino también en la CSI que valoriza los residuos metálicos.

El trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos: en el primero se presentan datos relevantes sobre la generación y el manejo de los RSU en la CDMX, principalmente de los metálicos. Se describe a la empresa caso de estudio como generador de residuos y eslabón de una CSI que valoriza residuos metálicos, delimitando el problema, la justificación y el objetivo de la investigación.

El segundo capítulo contiene el marco conceptual para la caracterización de la CSI, el estudio de las Operaciones Logísticas de Adquisición (OLA) y Operaciones Logísticas de Transporte (OLT), la valorización de residuos y el balance de costo-beneficio, así como la estrategia de la investigación para la colecta y análisis de los datos.

En el tercer capítulo se realiza la caracterización de la CSI de la empresa caso de estudio. Se identifican factores de análisis de las operaciones logísticas de adquisición y transporte. Se establecen alternativas y se realiza un análisis de balance de costo-beneficio para determinar los escenarios que favorezcan la valorización de los residuos.

Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan las conclusiones del proyecto de investigación.

## Introducción

La CDMX presenta una importante problemática ambiental derivada de la generación excesiva de residuos. Cada día se genera un promedio de 1.38Kg de residuos por habitante, en una de las zonas metropolitanas con mayor población a nivel mundial, sin embargo, se aprovecha una mínima cantidad y cerca de 3 millones de toneladas anuales se destinan a Sitios de Disposición Final (SDF), eliminando casi por completo su posibilidad de valorización (SEDEMA, 2020).

Una correcta clasificación y separación de residuos desde la fuente de generación puede reducir la cantidad que se envía a SDF y encauzar su posible valorización. De acuerdo con la Norma Ambiental: NADF-024-AMBT 2013, los residuos con potencial de reciclaje se pueden separar en: papel y cartón, plástico, vidrio, metales, ropa y textiles, maderas y envases multicapa. El tercer residuo con mayor volumen de generación, sólo por debajo del papel y cartón (29.2%) y de los plásticos (19.6%), son los metales con 17.2% (SEDEMA, 2020).

Los residuos metálicos se clasifican con alto potencial de reciclaje, gracias a sus características técnicas, económicas y ambientales que los hacen propicios para ser reincorporados a procesos o tratamientos que los valorizan, como la fundición, con lo cual es posible la elaboración de nuevos productos que son reinsertados en cadenas productivas mediante Cadenas de Suministro Inversas (CSI).

Los residuos metálicos se generan a partir del uso de los materiales en Cadenas de Suministro Directas (CSD) y es mediante las CSI que se promueve su valorización. La CSI que valoriza residuos metálicos está conformada por múltiples agentes generadores, acopiadores y reintegradores, diferenciados por el nivel de inversión para agregar valor a los materiales recuperados y por las cantidades que reciben, además de las cadenas productivas, que es donde se reintegran los residuos.

La empresa caso de estudio, en adelante: empresa de servicios de electricidad, es una compañía de la industria eléctrica que genera residuos metálicos, por lo que se considera como un eslabón de una CSI que valoriza residuos metálicos. La caracterización de la CSI es de interés, ya que a través de sus operaciones logísticas de adquisición y transporte se valorizan los residuos. El análisis de las operaciones permite identificar áreas de mejora logísticas en favor de la valorización de los materiales, lo cual no sólo puede extender el ciclo de vida de los residuos, sino también promover externalidades positivas en el medio ambiente.

El objetivo del presente proyecto de investigación es llevar a cabo un estudio de costo-beneficio en donde se analicen diferentes alternativas logísticas y se identifiquen aquellas que promuevan mejoras en el proceso de valorización de residuos, tomando como referencia la empresa caso de estudio, a fin de configurar un referente para compañías similares que busquen valorizar residuos metálicos, como la identificación de centros de acopio que actúan como agentes logísticos de transporte y recolectan los residuos sin costo, dando pauta a un mejor aprovechamiento en el proceso de valorización.

## CAPÍTULO 1. Generación y manejo de residuos sólidos en la Ciudad de México

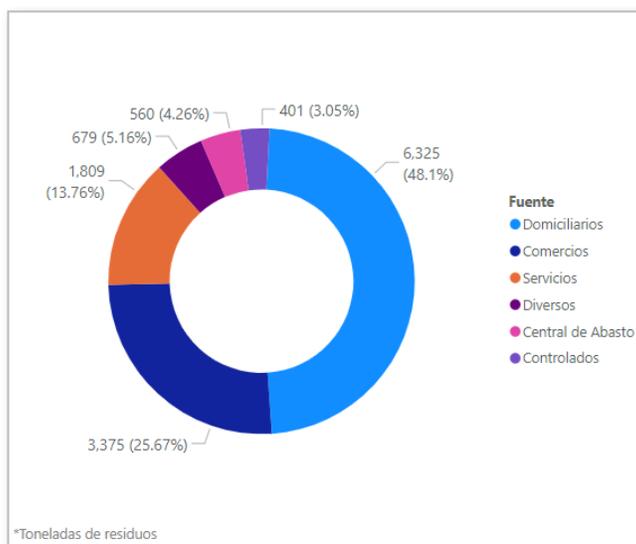
Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos como (DOF, 2003):

“...cualquier material o producto que se desecha, ya sea en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, que se contiene en recipientes o depósitos y que necesita estar sujeto a tratamiento o disposición final.”

La generación excesiva de residuos por parte de la sociedad se ha convertido en el día a día de la Ciudad de México (CDMX); la política del consumismo acelerado ha derivado en un promedio de 1.38 kg. al día por habitante, traducidos en 13,149 toneladas diarias, de acuerdo con cifras del Inventario de residuos sólidos de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA, 2020).

La principal fuente de generación de residuos sólidos en la CDMX es la domiciliaria, es el 48.10% del total, seguido de los comercios y servicios, con 26.67% y 13.76%, respectivamente (SEDEMA, 2020). Véase Figura 1. La generación en general se asocia con la población y su crecimiento, en el caso de la Ciudad de México 9,209,944 habitantes (INEGI, 2020). El presente estudio se centra en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en las fuentes domiciliarias.

Figura 1. Fuente de generación de residuos sólidos en la CDMX (2019)



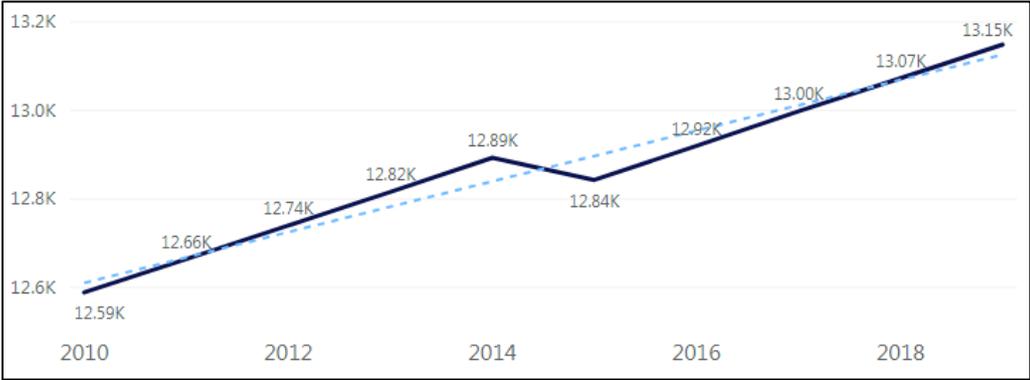
Fuente: SEDEMA (2020).

Las fuentes domiciliarias generan 6,325 toneladas diarias, los comercios 3,375 y el sector servicios 1,809 toneladas diarias que en conjunto representan el 88.5% de la generación de residuos en la CDMX, con 11,509 toneladas diarias. Mientras que los controlados son la fuente de menor generación con 401 toneladas diarias. La

Figura 1 muestra las seis fuentes de generación de residuos y la cantidad de toneladas que generan diariamente (SEDEMA, 2020).<sup>1</sup>

Cada año, la CDMX ha incrementado el volumen de generación de residuos sólidos (con excepción del 2015, debido al ajuste en los datos del censo poblacional del INEGI en el mismo año). En el 2010, el promedio diario de residuos fue de 12,059 toneladas, cifra que aumentó poco más del 9% en nueve años, generándose 13,149 toneladas diarias en 2019. En la Figura 2 se observa una tendencia creciente exponencial (línea punteada en azul claro), que denota el continuo aumento en la generación diaria de residuos (línea sólida en azul fuerte), por lo que es necesario, no sólo reducir las cantidades desde la fuente, sino también impulsar su valorización para aumentar el ciclo de vida de los residuos.

Figura 2. Generación de residuos sólidos en la CDMX de 2010 a 2019 (ton/día)



Fuente: SEDEMA (2011-2020).

<sup>1</sup> Controlados: residuos de manejo especial provenientes de unidades médicas, laboratorios, transporte terrestre, transporte aéreo y centros de readaptación.  
 Central de abastos: residuos provenientes del centro de distribución más grande de la CDMX.  
 Diversos: residuos de manejo especial, parques y jardines, etc.  
 Servicios: restaurantes, hoteles, oficinas, etc.  
 Comercios: establecimientos mercantiles.  
 Domiciliarios: casas, unidades habitacionales.

## 1.1 Factores relacionados con la generación de residuos sólidos

La CDMX presenta una importante problemática ambiental relacionada con el tamaño de su población, una generación excesiva de residuos en la sociedad, el tipo de unidades económicas y un reducido porcentaje de residuos que son reciclados o reusados diariamente.

De acuerdo con datos de la Organización de Naciones Unidas (ONU) obtenidos en el año 2018, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es la quinta zona urbana más poblada a nivel mundial, con 22 millones de habitantes<sup>2</sup>, sólo por debajo de Tokio (37 millones), Nueva Delhi (29 millones), Shanghai (26 millones) y Sao Paulo (22 millones). Mientras que la CDMX cuenta con 9,209,944 habitantes, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), poco menos de la mitad de la población de la ZMVM<sup>3</sup>.

El promedio de generación de residuos sólidos en la CDMX entre el 2010 y el 2019 fue de 12,868 toneladas al día, crecimiento que se deriva de diferentes factores como la densidad de población, el número y tipo de unidades económicas, así como la influencia de la población flotante (SEDEMA, 2020).

En la Figura 3 se observa la relación entre el tamaño de la población y la cantidad de toneladas diarias que genera cada Alcaldía. Las barras de las Alcaldías que están por encima de la población son aquellas donde se registra una mayor cantidad de residuos diarios por habitante, donde destacan Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Benito Juárez y Gustavo A. Madero, con un promedio de 2.49, 2.28, 2.02, 1.72 y 1.50 Kg. diarios por habitante, respectivamente. Mientras que, las barras que están por debajo de la población representan aquellas Alcaldías que generan menor cantidad de residuos por habitante: Milpa Alta, Álvaro Obregón y Xochimilco con un promedio de 0.88, 0.91 y 1.07 Kg. diarios por habitante, respectivamente (SEDEMA, 2019).

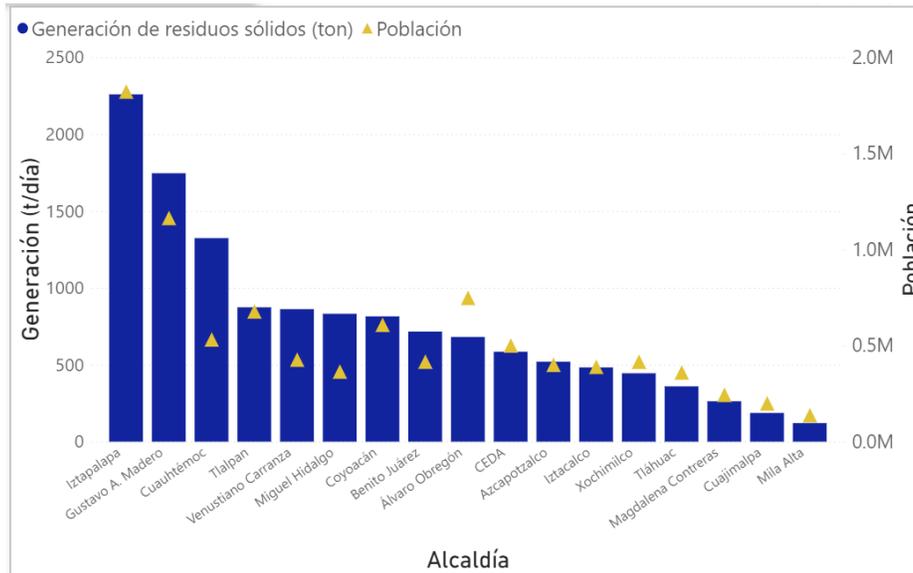
El tamaño de la población es un factor importante en relación con la generación de residuos, como en el caso de la Alcaldía Iztapalapa, que si bien, sus habitantes sólo generan un promedio de 1.24 Kg. diarios, al ser la Alcaldía con mayor número de habitantes en la CDMX, es la zona que mayor cantidad de residuos genera, es decir, 2,259 toneladas diarias de residuos (SEDEMA, 2019).

---

<sup>2</sup>United Nations, "World Urbanization Prospects 2018 – World's largest cities", disponible en: <https://www.un.org/development/desa/publications/graphic/world-urbanization-prospects-2018-worlds-largest-cities>, fecha de consulta: 10 de enero de 2021.

<sup>3</sup> INEGI, "México en Cifras", disponible en: [México en cifras \(inegi.org.mx\)](https://inegi.org.mx), fecha de consulta 03 de junio de 2023.

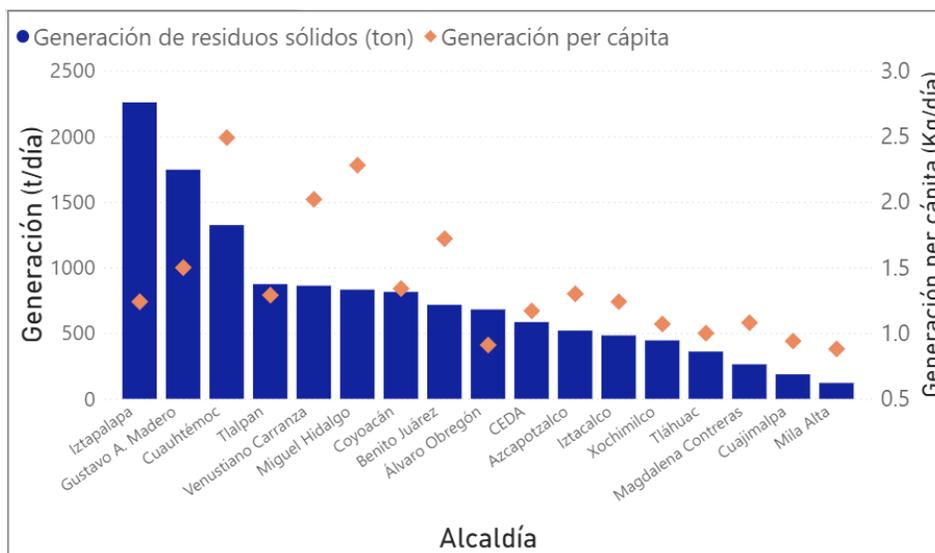
Figura 3. Generación de RSU frente a la cantidad de habitantes por Alcaldía (CDMX-2018)



Fuente: SEDEMA (2019).

La Figura 4 muestra la relación que existe entre la generación total de residuos y la generación per cápita, siendo las Alcaldías de Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Miguel Hidalgo, aquellas que generan una mayor cantidad de residuos por habitante, principalmente por la influencia de la población flotante en la generación de residuos.

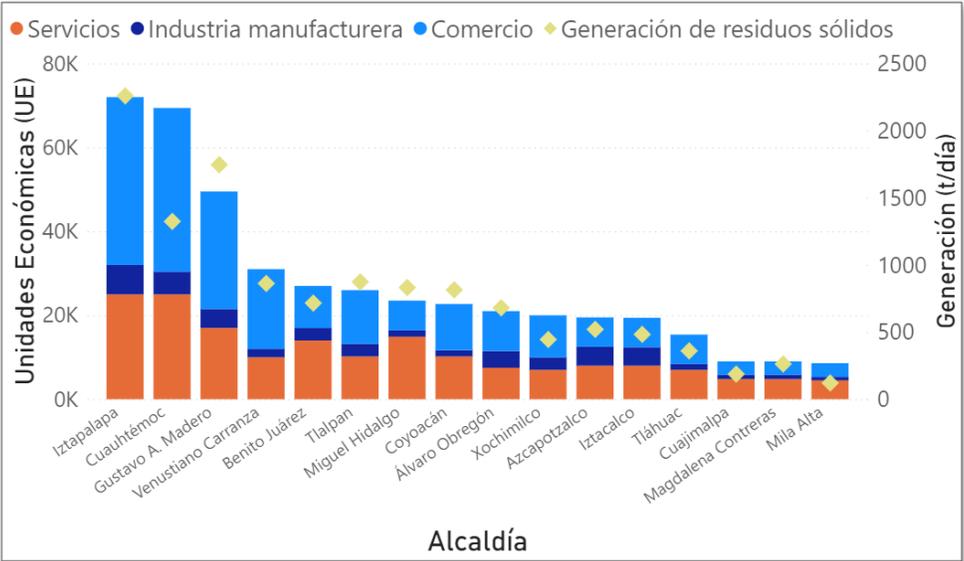
Figura 4. Generación de RSU frente a la generación per cápita por Alcaldía (CDMX-2018)



Fuente: SEDEMA (2019).

Además de la población, el número y tipo de unidades económicas es uno de los factores relacionados con la cantidad de residuos que se generan en la CDMX, tal como se indica en la Figura 5, donde la línea amarilla muestra la cantidad de toneladas de residuos generados al día, mientras que el número de unidades económicas está indicado por las barras, siendo el comercio el de mayor participación en la CDMX, seguido de los servicios y en última instancia la industria manufacturera. Nuevamente destaca Iztapalapa, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero, Alcaldías que concentran el 41% del total de residuos generados en la Ciudad.

Figura 5. Unidades económicas frente a la generación de RSU por Alcaldía (CDMX-2018)



Fuente: SEDEMA (2019).

Para el año 2019 continúa la tendencia en el incremento de la generación de residuos sólidos en la CDMX. La Alcaldía de Iztapalapa, primer lugar en número de unidades económicas genera la mayor cantidad de RSU con 2,274 t/día; seguida por Gustavo A. Madero con 1,756 t/día; juntas agrupan al 33% de la población de la CDMX. En tercer lugar, se encuentra la Alcaldía Cuauhtémoc con 1,332 t/día, misma que ocupa el primer lugar en generación per cápita y segundo en cantidad de unidades económicas, factores relacionados estrechamente con la generación de RSU en la CDMX (SEDEMA, 2020).

Con la finalidad de incentivar un manejo adecuado de los residuos sólidos generados en la CDMX, promover un mejor aprovechamiento y reducir la cantidad destinada a disposición final, la SEDEMA ha delimitado su clasificación en tres principales grupos: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RM) y Residuos Peligrosos (RP).

## 1.2 Clasificación de los residuos sólidos

La generación de residuos está creciendo a un ritmo acelerado en la CDMX, las principales causas se derivan del ritmo de vida, estilo de consumo que se promueve en la sociedad, el incremento de los ingresos y el aumento de la población. A fin de aprovechar mejor los residuos y reducir la cantidad destinada a SDF, la SEDEMA los clasifica en tres principales grupos de acuerdo con sus características y orígenes:

- Residuos Sólidos Urbanos (RSU).
- Residuos de manejo especial (RME).
- Residuos peligrosos (RP).

### Residuos Sólidos Urbanos

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, los RSU son aquellos que (DOF, 2003):

“...presentan características domiciliarias, físicas, químicas y de cantidad, mismos que se producen en las casas habitación, oficinas, pequeños comercios, o establecimientos en la vía pública; derivados de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas o resultantes de lugares públicos; los productos que se consumen y de sus envases, embalajes y empaques; siempre que no sean considerados como residuos de otra índole.”

#### Tipo de RSU

- |                      |                          |                      |
|----------------------|--------------------------|----------------------|
| • Algodón y trapo    | aprovechamiento limitado | • Papel              |
| • Bolsas de frituras | • Lata                   | • Plástico           |
| • Cartón             | • Loza y cerámica        | • Residuos orgánicos |
| • Envases multicapa  | • Madera                 | • Sanitarios         |
| • Fibras sintéticas  | • Metal ferroso          | • Vidrio             |
| • Hule               | • Metal no ferroso       |                      |
| • Inorgánicos de     | • Otros                  |                      |

### Residuos de Manejo Especial

Los Residuos de Manejo Especial (RME) se definen como (DOF, 2013):

“...subproductos no deseados o productos fuera de especificación resultantes de las actividades relacionadas con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios, y que no reúnen características domiciliarias o de peligrosidad”.

Por sus características se consideran como RSU, no obstante, para que sea considerado como RME debe cumplir con las siguientes características (DOF,2003):

1. Generación superior a 10 toneladas por año, o su equivalente en otras unidades y que requiera un manejo específico para su valorización y aprovechamiento.

2. Que sea un residuo incluido en el “Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos” de una o más entidades federativas, o en un estudio técnico-económico.

#### Tipos de RME

- Lodos de aguas residuales
- Neumáticos usados
- Pilas con ciertas especificaciones
- Residuos de actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas
- Residuos de la construcción
- Residuos de la salud
- Residuos de los servicios de transporte
- Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales
- Residuos tecnológicos

#### Residuos Peligrosos

De acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana: NOM-052-SEMARNAT-2005 (DOF, 2006), los residuos peligrosos son aquellos que presentan alguna de las siguientes características:

- Biológico Infecciosa
- Corrosividad
- Explosividad
- Inflamabilidad
- Reactividad
- Toxicidad Ambiental

La clasificación y separación de los residuos sólidos desde la fuente generadora, es vital para promover una gestión integral; ya que la fuente es el eslabón inicial de la larga trayectoria que recorren los residuos en la CDMX; en primera instancia es necesaria la clasificación en residuos orgánicos e inorgánicos, los primeros son destinados a Plantas de Composta para su aprovechamiento, mientras que los segundos requerirán de una segunda clasificación enfocada en su valorización; para lo cual son trasladados a Plantas de Selección, donde se separan aquellos residuos con mayor potencial de aprovechamiento. De las Plantas de Selección, los residuos sólidos son trasladados a Plantas de Compactación o Sitios de Disposición Final.

El crecimiento constante en la generación de residuos sólidos en la CDMX determina la necesidad de mejorar su gestión integral ante la saturación de los Sitios de Disposición Final, ya que no sólo trae consigo innumerables afectaciones al medio ambiente, sino también significa gastos importantes para su manejo, factores que se pueden reducir a partir de círculos virtuosos originados desde una correcta clasificación y separación de residuos desde las fuentes generadoras.

### 1.3 Manejo de los residuos sólidos

La generación de 13 mil 149 toneladas diarias de residuos sólidos exige de una infraestructura compleja, capaz de hacer frente a la demanda de la quinta ciudad más poblada del mundo, de acuerdo con información de la ONU obtenida en el 2018. La infraestructura está conformada por 13 Estaciones de Transferencia (ET), siete Plantas de Composta, tres Plantas de Selección (PS), dos Plantas de Compactación (PC) y seis Sitios de Disposición Final (SDF), cuyos trabajos de mantenimiento y operación logística están a cargo de la Secretaría de Obras y Servicios (SOBSE) en coordinación con las 16 alcaldías.

Los residuos sólidos son recolectados a través del servicio de trabajadores de limpia, vehículos recolectores y máquinas de barrido mecánico. De acuerdo con datos del 2019, la Secretaría de Obras y Servicios Públicos de la CDMX cuenta con 14,215 empleados de limpia que recorren un total de 1,836 rutas a través de las 16 Alcaldías, donde Iztapalapa (270 rutas), Gustavo A. Madero (225 rutas) y Cuauhtémoc (196 rutas) concentran cerca de un 38% del total. El personal cuenta con 9,002 carritos para el barrido manual, con el cual recolectan 1,860 toneladas diarias de residuos. Asimismo, la Ciudad de México cuenta con 2,594 vehículos recolectores y 69 barredoras mecánicas, éstas últimas recolectan cerca de 73 toneladas diarias de residuos (SEDEMA, 2020).

#### Estaciones de Transferencia

Los residuos sólidos son transportados a través de los vehículos recolectores a una de las 13 ET con las que cuenta la CDMX (Miguel Hidalgo no se encuentra en operaciones), las cuales fungen como almacenamiento temporal, ya que no realizan ningún tipo de operación adicional, aunque los residuos se manejan de manera separada para su envío a los distintos destinos, ya sea para su separación, aprovechamiento o para su disposición final.

#### Ubicación de las ET en la Ciudad de México

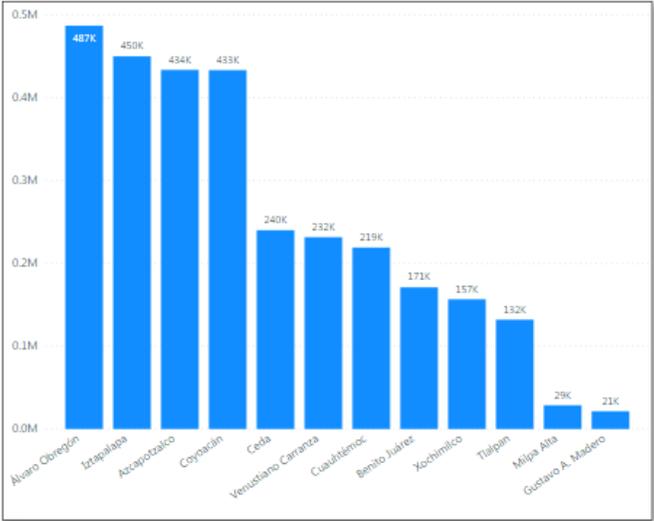
- Gustavo A. Madero
- Benito Juárez
- Álvaro Obregón
- Coyoacán
- Tlalpan
- Xochimilco
- Milpa Alta
- Iztapalapa
- Ceda
- Venustiano Carranza
- Cuauhtémoc
- Azcapotzalco

Una vez dentro de las ET, los vehículos recolectores descargan los residuos sólidos en vehículos de mayor tamaño, denominados transfer, usualmente tractocamiones con una capacidad de 20 a 25 toneladas. Se podría decir que las ET son almacenes temporales para la consolidación de la carga, a fin de promover una logística eficiente en materia de reducción de costos de transporte, tiempos de envío, costos de mantenimiento de vehículos recolectores y emisión de Gases de Efecto Invernadero, principalmente.

De las 12 ET (activas) en la Ciudad de México, las ubicadas en Álvaro Obregón (487,068 ton.), Iztapalapa (449,875 ton.), Azcapotzalco (433,608 ton.) y Coyoacán (433,271 ton.), concentran poco más del 60% de los residuos sólidos recolectados

en las Alcaldías, sumando en conjunto casi 2 millones, de un total de 3,004,069 toneladas de residuos que fueron consolidadas en las ET en 2019, a partir de la recolección de los trabajadores de limpia, barredoras mecánicas y vehículos de recolección (SEDEMA, 2020).

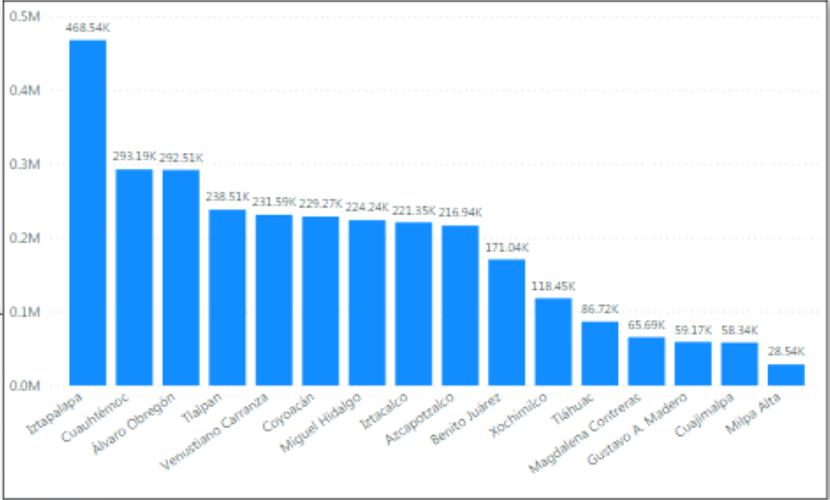
Figura 6. Cantidad de residuos sólidos recibidos en ET 2019 (ton)



Fuente: SEDEMA (2020).

Tomando en cuenta las Alcaldías de la CDMX, Iztapalapa es la que mayor cantidad de residuos sólidos destina a las ET, con 468 mil toneladas al año, en contraste con Milpa Alta, que únicamente contribuye con 28 mil toneladas (SEDEMA, 2020). Se observa nuevamente el patrón de factores que involucran la generación de residuos sólidos, en el aspecto de la recolección y envío a las ET: cantidad de población, número de unidades económicas e ingresos per cápita.

Figura 7. Cantidad de residuos sólidos enviados a ET por Alcandía 2019 (ton)

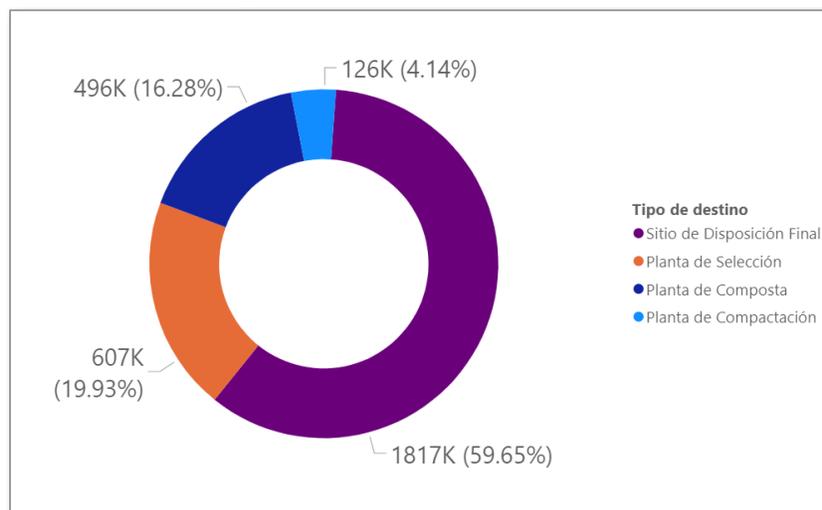


Fuente: SEDEMA (2020).

Una vez que se encuentran los residuos sólidos en las ET, éstos son transportados por los tractocamiones a cuatro diferentes tipos de destino: SDF, PS, Plantas de Composta y PC; con un porcentaje de residuos transportados del 59.64%, 19.93%, 16.29% y 4.14%, respectivamente (ver Figura 8).

Cerca del 41% de los residuos son enviados a Plantas de Composta, selección y compactadoras, esto debido a sus características con potencial de valorización, sin embargo, 59% de los residuos se envía a disposición final, ya que los esquemas vigentes de aprovechamiento no utilizan este tipo de residuos como materia prima, debido a que, en algunos casos, estos materiales aún no tienen potencial económico en el mercado de reciclaje, o se encuentran mezclados con otros residuos, dificultando su aprovechamiento (SEDEMA, 2019).

Figura 8. Destino de los residuos sólidos a partir de las ET 2018 (ton)



Fuente: SEDEMA (2019).

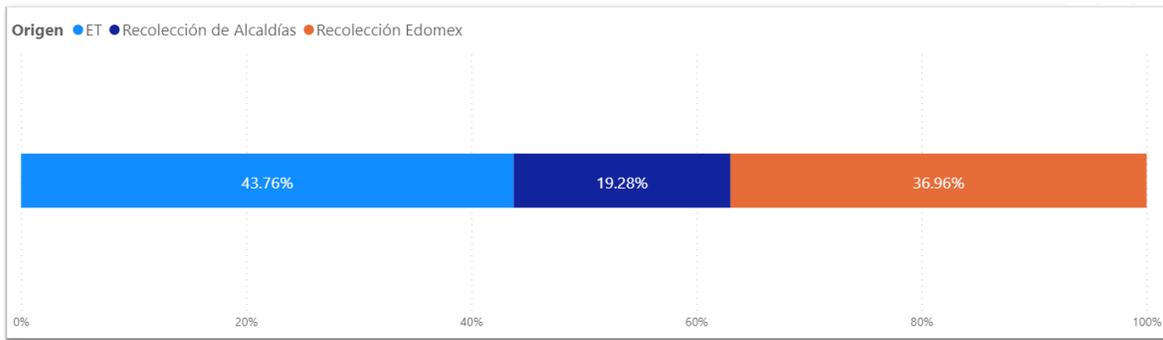
El que cerca del 60% de los residuos sólidos se envíen a uno de los seis SDF, sin antes ser trasladados a una planta que promueva su aprovechamiento, resalta la gran necesidad que tiene la CDMX de una eficiente separación de los residuos sólidos desde la fuente generadora, con el fin de aumentar el ciclo de vida de los residuos y reducir el volumen enviado a los depósitos sanitarios.

#### Plantas de Selección

Las PS son sitios que promueven el aprovechamiento de los residuos a partir de la separación de materiales valorizables, que por sus características físicas y químicas pueden ser reinsertados en cadenas de suministro directas. Dentro de los materiales recuperables se encuentran metales ferrosos, como el hierro, y no ferrosos, como el cobre y el aluminio, así como botellas de plástico y vidrio, cartón, papel, PVC, PET, plástico rígido, entre otros.

Las PS reciben un total de 1,387,344 toneladas de residuos al año, de las cuales, el 43.76% proviene de las ET, el 36.96% de la recolección en el Estado de México y el 19.28% del sistema de limpia de las Alcaldías de la CDMX (SEDEMA, 2019).

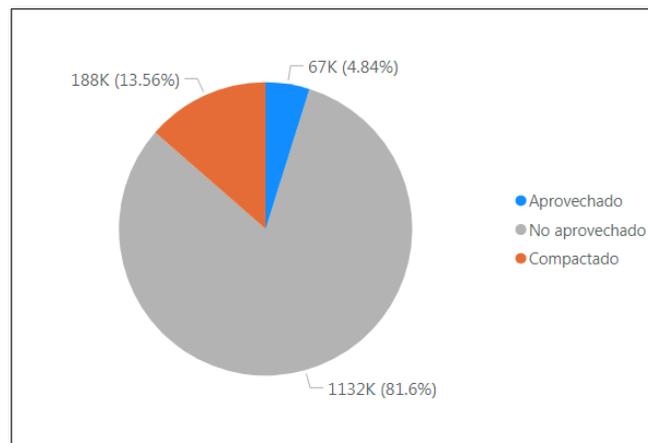
Figura 9. Origen de los residuos sólidos enviados a Plantas de Selección (2018)



Fuente: SEDEMA (2019).

La Ciudad de México cuenta con dos PS: Santa Catarina y San Juan de Aragón (SJA), mismas que reciben 1 millón 387 mil 342 toneladas de residuos al año (2018), no obstante, al igual que en las ET, el problema de la escasa separación de residuos en la CDMX deriva en un aprovechamiento de menos del 5%, ya que la recepción de residuos con potencial de reciclaje se encuentra mezclado con otros residuos, lo cual dificulta su correcta separación, resultando en 81.6% de materiales que no son aprovechados, mientras que el 13.56% restante, es enviado a PC.

Figura 10. Resultado de los residuos en las Plantas de Selección 2018 (ton)



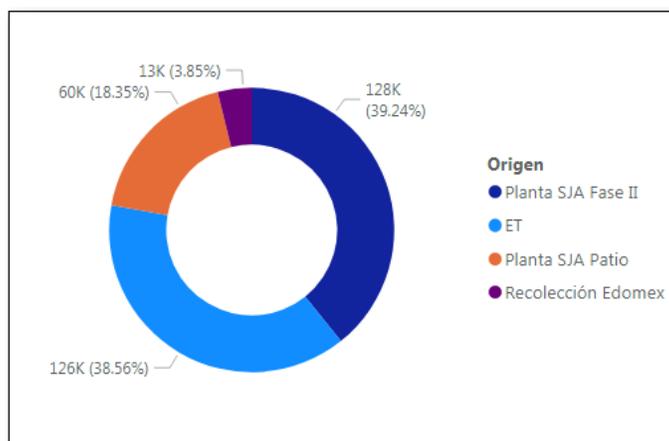
Fuente: SEDEMA (2019).

Debido a que los residuos se encuentran mezclados, es complicado para los trabajadores de limpia realizar una selección y separación eficiente de los mismos, ya que, el proceso es manual y se realiza mientras los residuos están siendo trasladados mediante bandas. En caso de que el personal de la planta detecte material valorizable inorgánico, éste es separado para su futura reinserción en cadenas productivas, mientras que los residuos de aprovechamiento limitado continúan su camino hacia la Planta de Compactación o a uno de los SDF.

## Plantas de Compactación

La CDMX cuenta con dos PC: la planta de Iztapalapa y la planta de San Juan de Aragón, en conjunto reciben un total 326 mil toneladas de residuos al año (2018); provenientes de ET (38.56%), PS (57.59%) y del proceso de recolección del Estado de México (3.85%); los residuos inorgánicos se compactan a través de maquinaria, se empaican y son enviados a plantas de recuperación energética (SEDEMA, 2019).

Figura 11. Origen de los residuos sólidos ingresados en Plantas de Compactación 2018 (ton)



Fuente: SEDEMA (2019).

## Plantas de Composta

Los residuos sólidos orgánicos son transportados a una de las siete Plantas de Composta con las que cuenta la CDMX, mismas que reciben en conjunto un total de 316 mil 711 toneladas de residuos al año, provenientes casi en totalidad de ET (97%). Con la cantidad de residuos que ingresa a las Plantas se producen 121 mil 657 toneladas de composta al año; de la cual, el 39.32% se queda en las plantas para almacenamiento debido a los costos implicados en su distribución, el 28.48% se emplea en agricultura, el 21.56% se destina a las Alcaldías para su uso en áreas verdes, parques y jardines y el restante 10.64% se envía a otros destinos (SEDEMA, 2019).

## Sitios de Disposición Final

Los SDF son depósitos sanitarios de residuos de carácter permanente, que cuentan con las condiciones adecuadas para minimizar los daños que los materiales puedan causar al medio ambiente.

El crecimiento exacerbado de la población, la generación excesiva de residuos y un escaso porcentaje de separación de componentes desde la fuente, han derivado en la clausura de los seis SDF con los que contaba la CDMX; Prados de la montaña (1994), Santa Catarina (2001) y las Etapas I (2011), II (1991), III (1994) y IV (2011) del Bordo Poniente. Por lo que la CDMX se ha visto en la necesidad de

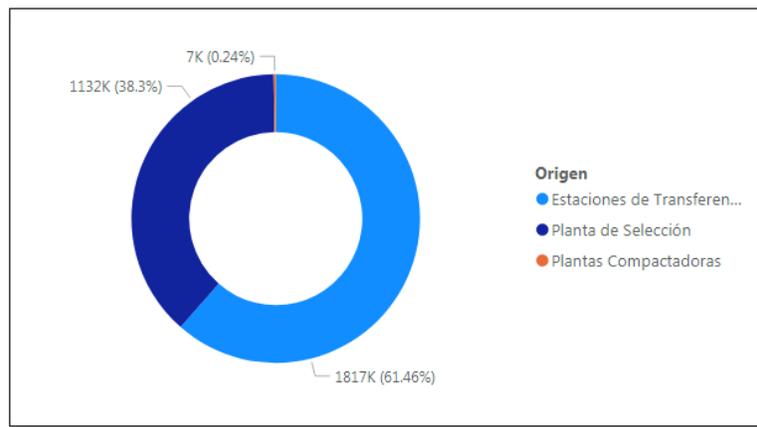
suscribir convenios con el Estado de México y Morelos para la disposición final de sus residuos.<sup>4</sup>

SDF que reciben los residuos de la CDMX

- Cuautla
- Naucalpan
- Cuautitlán
- Chicoloapan
- Cañada
- Milagro

Anualmente son transportados alrededor de 2 millones 956 mil 218 toneladas de residuos a los SDF, principalmente provenientes de las ET con el 61.46%, seguido de las PS que contribuyen con el 38.3% y finalmente las Plantas Compactadoras con el 0.24% (SEDEMA, 2019).

Figura 12. Origen de los residuos destinados a SDF 2018 (ton)



Fuente: SEDEMA (2019).

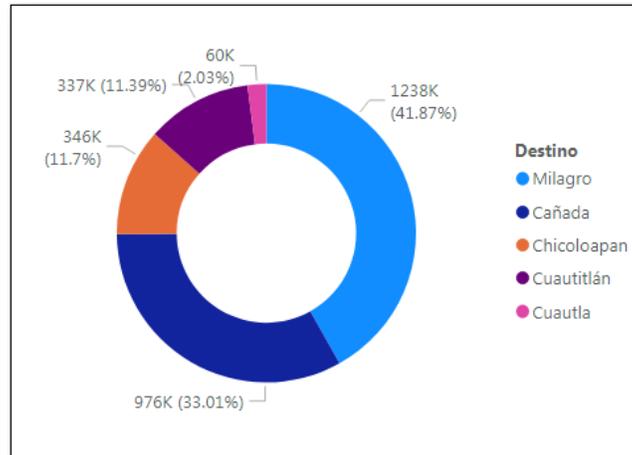
El 98% de los residuos sólidos enviados a disposición final, son trasladados al Estado de México; de los cuales, el 42.74% es enviado al SDF de Milagro, el 33.69% al SDF de Cañada, el 11.95% al SDF de Chicoloapan y el 11.62% al SDF de Cuautitlán; mientras que sólo el 2% de los residuos sólidos es transportado al SDF de Cuautla, provenientes de las PS (SEDEMA, 2019).

La gran cantidad de residuos sólidos que son transportados a SDF, representan un área de oportunidad importante para la gestión de los residuos en la CDMX, ya que se pierde casi por completo su posibilidad de valorización, siendo uno de los procesos más determinantes la separación desde la fuente generadora, ya que a partir de este punto se puede promover su aprovechamiento, mediante el destino

<sup>4</sup> Los SDF son de carácter permanente, por lo que, aun cuando han sido clausurados, la CDMX debe garantizar el monitoreo y control de biogás y lixiviados ante los impactos negativos que generan, de acuerdo con la nom-083-semarnat-2003, además de la adecuación del terreno y la cobertura de las celdas (SEDEMA, 2020).

de los residuos a las plantas correspondientes, para su valorización y posterior reinsertión a cadenas productivas.

Figura 13. Destino de los residuos sólidos en SDF 2018 (ton)



Fuente: SEDEMA (2019).

#### 1.4 Separación de Residuos Sólidos Urbanos

El manejo de los residuos sólidos de una de las ciudades más pobladas del mundo es sumamente complejo, se requiere de gran cantidad de personal e infraestructura para promover su aprovechamiento; de igual manera, el papel de la población es sumamente importante, ya que el porcentaje de aprovechamiento de residuos disminuye considerablemente ante la falta de cultura ambiental, no sólo de los habitantes, sino también de los agentes de regulación, control y seguimiento de las políticas gubernamentales enfocadas en el impulso de la separación de los residuos sólidos. Por lo que es crucial promover la separación desde la fuente generadora, así como la valorización y reinsertión de los residuos en cadenas productivas, a fin de extender su ciclo de vida y reducir las cantidades que se transportan a SDF.

La primera clasificación debe realizarse en el ámbito de los residuos orgánicos e inorgánicos; ya que los primeros se destinan a las Plantas de Composta para su aprovechamiento; a su vez, los residuos inorgánicos deben separarse de acuerdo con su potencial de valorización o características físicas de acuerdo con lo siguiente<sup>5</sup>:

- Residuos con potencial de reciclaje.
- Residuos inorgánicos de aprovechamiento limitado.
- Residuos especiales y voluminosos.
- Residuos peligrosos provenientes de fuentes distintas a los establecimientos comerciales, industriales o de servicios.

<sup>5</sup> Para más información véase Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2015.

Los residuos con mayor potencial de aprovechamiento y con mejor eficiencia en términos de costos de valorización y reinserción en cadenas productivas, son los residuos con potencial de reciclaje, ya que cuentan con las características técnicas, económicas y ambientales de ser reincorporados a un proceso o tratamiento para permitir su valorización; por lo que deben ser separados del resto de los residuos desde la fuente generadora para evitar su contaminación.

De acuerdo con la Norma Ambiental: NADF-024-AMBT 2013, los residuos con potencial de reciclaje son: papel y cartón, plástico, vidrio, metales, ropa y textiles, maderas y envases multicapa; a partir de los cuales es posible producir pulpa de papel y cartón, aglomerados, pellets, productos y piezas metálicas, entre otros; con la finalidad de aumentar el ciclo de vida de los residuos y disminuir el volumen que es destinado a SDF.

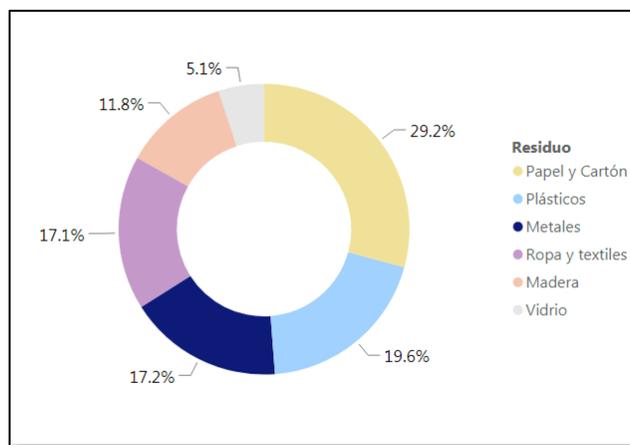
Figura 14. Residuos inorgánicos con potencial de reciclaje

Materiales	Aprovechamientos como:
Papel y Cartón	Pulpa de papel y cartón
Plástico	Agglomerados
Vidrio	Pellets
Metales	Hojuelas
Ropa y textiles	Vidrio
Maderas	Productos metálicos
Envases multicapas	Piezas metálicas varias
	Estopa

Fuente: Gaceta Oficial del Distrito Federal (2015).

La Figura 15 muestra el porcentaje de cada categoría de los residuos con potencial de reciclaje, tomando en cuenta el volumen de generación en el 2019. El de los residuos metálicos, contemplando ferrosos y no ferrosos, es 17.2% del total; el tercer residuo inorgánico con potencial de reciclaje con mayor volumen de generación, sólo por debajo del papel y cartón (29.2%) y de los plásticos (19.6%).

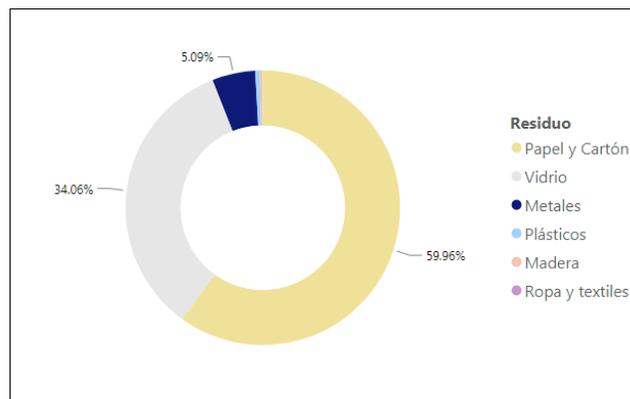
Figura 15. Residuos inorgánicos con potencial de reciclaje (2019)



Fuente: SEDEMA (2020).

Tomando en cuenta el porcentaje de aprovechamiento, únicamente el 5% corresponde a los metales, lo cual deriva en un amplio potencial para este tipo de residuos, a diferencia del papel y cartón, que actualmente concentran cerca del 60% del volumen de residuos con potencial de reciclaje aprovechados en el 2019.

Figura 16. Aprovechamiento de residuos inorgánicos con potencial de reciclaje (2019)



Fuente: SEDEMA (2020).

Asimismo, por sus características físicas y químicas, los metales tienen un gran potencial de aprovechamiento, ya que, a través del proceso de fundición es posible elaborar nuevos productos metálicos, extendiendo la vida de los residuos, disminuyendo el volumen destinado a SDF y reduciendo impactos ambientales.

### 1.5 Residuos metálicos

Los residuos metálicos se clasifican dentro de los RSU, siempre y cuando presenten características domiciliarias, es decir, que se generen en casas habitación, oficinas, pequeños comercios o establecimientos en la vía pública, no superen las 10 toneladas al año y no se encuentren clasificados dentro de los RME o RP de acuerdo con sus características físicas, químicas o de cantidad (DOF, 2016).

De acuerdo con la Norma Ambiental NADF-024-AMBT 2013 sobre separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal, los metales se clasifican en ferrosos y no ferrosos, de acuerdo con su composición química, con la finalidad de que sean destinados a los mercados con mayor porcentaje de aprovechamiento (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2015).

La Figura 17 indica cuáles son los materiales que son considerados como ferrosos y no ferrosos, asimismo, ejemplifica residuos que pueden ser generados en diferentes industrias: automotriz, construcción, eléctrica, electrónica, metalúrgica, entre otras, especifica cómo es que son aprovechados los residuos una vez que han sido valorizados e indica el color que debe presentar el contenedor de residuos metálicos (gris claro, Pantone 7540), establecido por la Norma Ambiental 024, para su correcta identificación (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2015).

Figura 17. Clasificación de los residuos metálicos

Color de Identificación: <b>Gris claro</b> Pantone 7540		
<b>Metal Ferroso</b>		
<b>Material</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Aprovechamiento</b>
Fierro Acero Hierro fundido Acero Inoxidable	Chatarra de procesos industriales Chatarra Vehículos, maquinaria industrial Materiales de construcción	Fundición y elaboración de nuevos productos
<b>Metal No Ferroso</b>		
<b>Material</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Aprovechamiento</b>
Cobre Aluminio Estaño Plomo Zinc Níquel Cromo Titanio Magnesio Latón Bronce Antimonio Plata Oro Platino	Bloques o cárteres de motor Cables eléctricos Chapas Desguaces de vehículos Instalaciones de fontanería gas y calefacción Chapas Latas de bebida Litográficas Papel de aluminio Partes de equipos eléctricos y electrónicos Latas de bebida Piezas de fundición Productos de latón Recortes y virutas de productos de aluminio Rines de llantas de coche Recortes y virutas Partes de electrónicos Piezas de fundición	Fundición y elaboración de nuevos productos Planchas de construcción, Planchas de imprentas, papel de aluminio Partes de carrocerías de vehículos perfiles para ventanas piezas para motores, manijas de puertas cables Subproductos con aprovechamiento industrial como óxidos de aluminio, polvos metálicos, sales, etc.

Fuente: Gaceta Oficial del Distrito Federal (2015).

### 1.5.1 Metales ferrosos

El único metal ferroso en la tabla periódica es el hierro (Fe), el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y el segundo tomando en cuenta sólo los metales, únicamente por debajo del aluminio. Es un metal maleable, de color gris, con propiedades magnéticas, denso, abundante y susceptible a corrosión, no obstante, en la industria se han creado aleaciones para fortalecer o mitigar alguna de sus propiedades, las cuales son consideradas igualmente como metales ferrosos, como el acero, el acero inoxidable (no corrosivo), el hierro gris, el fierro, el hierro fundido y el acero galvanizado<sup>6</sup>.

Los metales ferrosos son utilizados por sus propiedades mecánicas: elasticidad, dureza, ductilidad, soldabilidad, facilidad de corte y expansión térmica; así como por su eficiencia de costo. Se emplean principalmente en el sector automotriz, manufactura de moldes primarios, productos electrodomésticos, dispositivos de precisión, maquinaria industrial y materiales de construcción. Mientras que el hierro es el metal más utilizado, ya que configura el 95% en peso de la producción

<sup>6</sup> Foremex, "Servicios", disponible en: <https://foremex.com.mx/materiales.html>, fecha de consulta: 04 de diciembre de 2020.

mundial de metal, empleado principalmente para la elaboración de productos siderúrgicos.<sup>7</sup>

El aprovechamiento de los metales ferrosos se basa en la fundición del residuo para la elaboración de nuevos productos, donde la resistencia es de suma importancia, por ejemplo, el hierro fundido se utiliza para la fabricación de puertas, vallas de jardín, cubiertas de drenaje, sumideros, entre otros; el hierro gris es el metal fundido más común en las fundidoras, mientras que el acero es la aleación ferrosa más usada en la industria automotriz, de la construcción y del transporte, gracias a sus propiedades de bajo precio y dureza<sup>8</sup>.

El acero galvanizado es una aleación del hierro con el zinc, cuya finalidad es hacer aún más duro el metal. El proceso de galvanizado puede ser en caliente, por inmersión o al fuego y consiste en introducir piezas de acero en zinc fundido, a una temperatura aproximada de 450°C hasta lograr un recubrimiento de 7-42 micras (recubrimiento bajo, regulado por la norma UNE EN ISO 10346) o de 45-200 micras (de alta duración, regulado por la norma UNE EN ISO 1461)<sup>9</sup>.

Al alearse metalúrgicamente el zinc con el acero, se crea una capa inter-metálica con significativa adherencia y dureza, resistente a los impactos, aleación aplicada especialmente para su uso en el exterior y en ambientes húmedos o corrosivos.

Características<sup>10</sup>

- Durabilidad
  - Hasta 100 años en ambiente rural
  - 40-100 años en ambiente urbano
  - 20-40 años en ambiente industrial
  - 10-20 años en entorno marino
- Sin costos de mantenimiento
- Fiabilidad
- Resistencia
- Manejabilidad

---

<sup>7</sup> Química, “Hierro”, disponible en: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Hierro.html>, fecha de consulta: 25 de noviembre de 2021.

<sup>8</sup> Reliance Foundry, “Introducción a los Materiales: Metales Ferrosos y No Ferrosos”, disponible en: <https://www.reliance-foundry.com/blog/metales-ferrosos-no-ferrosos-es#gref>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

<sup>9</sup> Ferros Planes, “Proceso de galvanizado: ¿qué es y qué ventajas tiene?”, disponible en: <https://ferrosplanes.com/proceso-galvanizado-ventajas/>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

<sup>10</sup> Ibidem.

El acero galvanizado es resistente a la abrasión, a la corrosión atmosférica, tiene la propiedad de ductilidad y es reciclable, por lo que es utilizado en la industria y en la construcción no sólo como materia prima sino también en productos terminados como rejillas, láminas, alambres, cables, placas, piezas de fundición, tornillos, tuercas, tuberías, entre otros<sup>11</sup>.

### 1.5.2 Metales no ferrosos

Los metales no ferrosos son todos aquellos metales y sus aleaciones que no contienen hierro, son utilizados por sus atribuciones únicas: peso reducido, conductividad, resistencia a la corrosión, propiedades no magnéticas, tradición o valor decorativo.

Todos los metales en la tabla periódica, con la excepción del hierro, son no ferrosos, como el caso del cobre y sus aleaciones; bronce y latón (resistentes a la corrosión), usados en aplicaciones marinas, decorativas y partes mecánicas; el aluminio (liviano, resistente a la corrosión), usado en la industria aeroespacial; así como metales preciosos, estaño, plomo, entre otros; considerados como la materia prima de la industria de la transformación<sup>12</sup>.

Por su parte, el cobre es el tercer metal más empleado en el mundo, sólo por debajo del hierro y el aluminio. Se utiliza principalmente en la industria de la construcción con tuberías para agua y gas (40% de su producción) y en la industria eléctrica (27% de su producción), ya que es la materia prima principal de la producción de cable, gracias a su baja resistencia, ductilidad, alta conductibilidad térmica y eléctrica, resistencia a la tracción y a la oxidación, además de su durabilidad, ya que se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus propiedades mecánicas<sup>13</sup>.

Además de la industria eléctrica, el cobre tiene aplicaciones en la industria energética (generadores, motores y transformadores), de telecomunicaciones (cables), transporte (componentes de vehículos y catenarias) y en el sector salud (utensilios médicos), fundamentalmente<sup>14</sup>.

La Figura 18 muestra la cantidad de residuos sólidos, ferrosos y no ferrosos, que se han registrado de 2010 a 2019 a través de los Planes de Manejo Especial de la SEDEMA. De acuerdo con la Secretaría se han generado un total de 580 mil toneladas de residuos de metales ferrosos (cerca del 80% del total de residuos metálicos) y poco más de 152 mil toneladas de residuos de metales no ferrosos (20.8% del total de residuos metálicos), por lo que es de suma importancia considerar su valorización para extender el ciclo de vida de los residuos y con ello

---

<sup>11</sup> Panel y acanalados Monterrey, “¿Qué es el acero galvanizado? Conoce los tipos, usos y ventajas a continuación”, disponible en: [Acero galvanizado; Tipos, usos y ventajas | Panel y Acanalados](#), fecha de consulta: 18 de agosto de 2022.

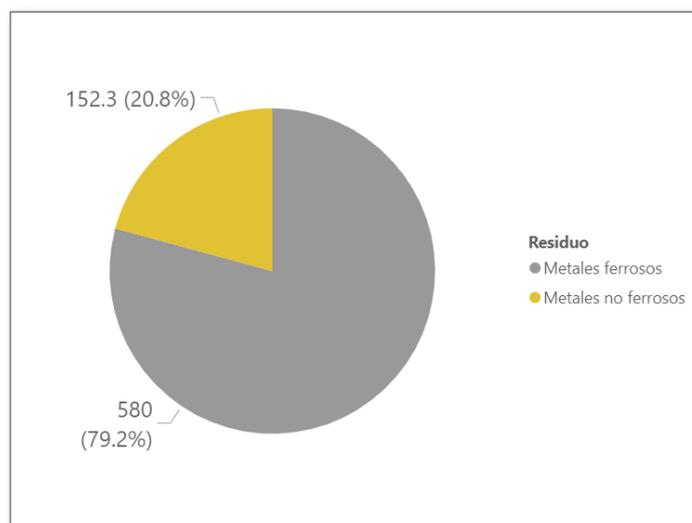
<sup>12</sup> Foremex, Op. Cit.

<sup>13</sup> Ingemecanica, “Propiedades mecánicas y químicas del cobre”, disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn112.html>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

<sup>14</sup> Hernández, Hernán, Op. Cit.

fomentar la reducción del volumen destinado a disposición final. (SEDEMA, 2011-2020).

Figura 18. Generación de residuos metálicos en miles de toneladas (2010-2019)



Fuente: SEDEMA (2011-2020).

## 1.6 Caso de estudio. Una empresa generadora de residuos metálicos.

Como parte del proyecto de investigación, se consideró como caso de estudio, una empresa de la industria eléctrica, que se denomina, para efectos del presente trabajo, “empresa de servicios de electricidad”, la cual genera residuos metálicos, ferrosos y no ferrosos, derivados de los servicios que realiza en la CDMX. El nombre, ubicación y contacto de la compañía se mantienen como confidenciales, los datos recabados en materia administrativa, operativa y financiera son reales.

### 1.6.1 Descripción de la empresa y servicios que realiza

La empresa de servicios de electricidad es 100% mexicana, fundada en el año 2011 en la CDMX, sus actividades están encaminadas al sector servicios, ya que no realiza ningún tipo de transformación de materia prima, sino que realiza instalaciones eléctricas, de acuerdo con las necesidades de sus clientes, a través de lo cual, recibe remuneración monetaria, dependiendo de la complejidad, los materiales utilizados y el tiempo invertido.

La compañía cuenta con 11 años de experiencia, a lo largo de los cuales, ha desarrollado proyectos en las 16 Alcaldías de la CDMX, en la Zona Metropolitana del Valle de México y en diferentes Estados de la República Mexicana, incluyendo Morelos, Nuevo León, Aguascalientes, Puebla, Guerrero, Tabasco, Veracruz, Oaxaca, Michoacán, Querétaro, entre otros.

La empresa de servicios de electricidad cuenta actualmente con ocho empleados, divididos en cuatro departamentos; siendo el área operativa la que comprende la mayor cantidad de personal con cinco trabajadores, mientras las áreas de administración, contratación y publicidad cuentan con un empleado cada una.

Cada uno de los trabajadores tiene conocimiento de la estrategia corporativa de la empresa, por lo que trabajan en conjunto para promover una estructura que sea capaz de cumplir con servicios que estén de acuerdo con los requerimientos y las necesidades de sus clientes, buscando consolidar un posicionamiento en la industria a través de modelos de mejora continua.

### Misión

“Empresa de calidad en el sector eléctrico, con personal comprometido y certificado, que brinda soluciones integrales y personalizadas de acuerdo con las necesidades de cada cliente.”<sup>15</sup>

La principal área de servicios de la empresa de servicios de electricidad se encuentra en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, no obstante, cuenta con cobertura a nivel nacional. Uno de sus principales objetivos es consolidarse a lo largo del país como una empresa líder en la industria.

### Visión

“Posicionarnos como una empresa líder en el ramo de servicios de la industria eléctrica, al cumplir estándares nacionales e internacionales, impulsar la mejora continua, innovación tecnológica y capacitación constante, que garantice la eficacia y eficiencia en nuestros procesos, productos y servicios, para brindar a nuestros clientes la confianza de un excelente trabajo”.<sup>16</sup>

Una de las principales ventajas competitivas de la empresa de servicios de electricidad se basa en la promoción de la calidad a través una capacitación constante de sus trabajadores, en términos de seguridad laboral, innovación tecnológica y normatividad vigente, fundamentalmente, con la finalidad de promover una mejora continua en relación con los servicios que prestan.

### Certificaciones

El equipo operativo cuenta con las siguientes certificaciones, además de estar en constante capacitación en materia de innovación, promoviendo el uso de tecnologías eficientes y energías limpias en instalaciones eléctricas, incluyendo el uso de tecnología led y paneles solares:

STPS. – Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Certificación en habilidades laborales (DC3), incluye los siguientes rubros<sup>17</sup>:

- Conocimiento e identificación de riesgos de la electricidad.
- Conocimiento de las situaciones donde se ejecuta un trabajo eléctrico.

---

<sup>15</sup> Presentación Corporativa de la empresa de servicios de electricidad.

<sup>16</sup> *Ibidem*.

<sup>17</sup> Sistemastei, “Certificación en seguridad”, disponible en: <http://www.sistemastei.com.mx/consultoria/>, fecha de consulta: 02 de febrero de 2021.

- Trabajar de manera segura con equipo eléctrico.
- Mantener el sitio de trabajo en adecuadas condiciones de orden y limpieza.
- Eliminar condiciones inseguras, reduciendo riesgos de accidentes.
- Entendimiento básico de cómo se comporta la electricidad.
- Ejemplos visuales de riesgos eléctricos que pueden encontrarse en el trabajo.

CRE. – Comisión Reguladora de Energía. Certifica que la compañía genera electricidad mediante energías renovables.

ANCE. – Acreditación ante la Asociación de Normalización y Certificación en sistema de gestión de la energía, herramienta mediante la cual se identifican ineficiencias en su uso, lo que contribuye a un ahorro y eficiencia energética en proyectos a corto, mediano y largo plazo, promoviendo su rentabilidad, además de coadyuvar en la reducción de emisión de Gases de Efecto Invernadero<sup>18</sup>.

EME. – Certificación ante la Empresa Mexicana de Electricidad en<sup>19</sup>:

- Tecnología de las instalaciones eléctricas
- Sustentabilidad
- Sistemas inteligentes
- Control, protección y distribución de la energía
- Sistemas de emergencia
- Normatividad
- Control, protección y distribución de la energía

SE. – Certificación EcoXpert de Schneider Electric para hogares y pequeñas empresas. Capacitación profesional sobre tecnología e instalaciones inteligentes<sup>20</sup>.

CFE. – Comisión Federal de Electricidad. Capacitación sobre instalaciones eléctricas de calidad y bajo normatividad.

La Figura 19 contiene la ficha técnica de la empresa de servicios de electricidad, contemplando sus principales características: año de fundación (2011), sector (servicios), giro (electricidad), actividad (instalaciones eléctricas), tamaño (microempresa), cantidad de empleados (ocho), departamentos (administración, operación, contratación y publicidad), localización (Ciudad de México) y certificaciones (STPS, CRE, ANCE, EME, SE y CFE).

---

<sup>18</sup> ANCE, “Sistemas de Gestión de la Energía (ISO-50001)”, disponible en: <https://www.ance.org.mx/Ance/es/sectores/energ%C3%ADa/>, fecha de consulta: 02 de febrero de 2021.

<sup>19</sup> EME, “Electricidad, Carrera técnica”, disponible en: <https://eme.mx/escuela/cursos-de-electricidad/carrera-tecnica-de-electricidad/>, fecha de consulta: 02 de febrero de 2021.

<sup>20</sup> SE, “EcoXpert para hogares y pequeñas empresas”, disponible en: <https://www.se.com/mx/es/partners/ecoxpert/discover/certifications-and-specializations/ecoxpert-home-and-small-business.jsp>, fecha de consulta: 02 de febrero de 2021.

Figura 19. Ficha técnica de la empresa de servicios de electricidad

Nombre:	Empresa de servicios de electricidad
Año de fundación:	2011
Sector:	Servicios
Giro:	Electricidad
Actividad:	Instalaciones de electricidad
Tamaño:	Microempresa
Cantidad de empleados:	8
Departamentos:	Administración, operación, contratación y publicidad
Localización:	Ciudad de México
Certificaciones:	STPS, CRE, ANCE, EME, SE y CFE

Fuente: Datos de la empresa de servicios de electricidad (2021).

### Servicios

La empresa de servicios de electricidad realiza una amplia variedad de servicios relacionados con instalaciones eléctricas, desde el nivel doméstico hasta el alcance industrial, además de la gestión de trámites ante la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

#### Sector doméstico

A nivel casa-habitación, la empresa de servicios de electricidad realiza múltiples servicios; incluyendo instalaciones, reparaciones, adecuaciones, solución de problemas concretos, necesidades y requerimientos técnico-administrativo en términos de electricidad, entre los cuales destacan los siguientes:

- Gestión eficiente del consumo de energía.
- Instalación de servicios monofásicos, bifásicos y trifásicos.
- Remodelación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.
- Instalación de acometidas para la colocación de medidores de energía eléctrica.
- Paneles solares.
- Reparación de sobrecargas, falsos contactos, variaciones de voltaje, cortos circuitos y fallas a tierra.
- Revisión y adecuación de fugas de corriente.

#### Sector comercial

En el ámbito comercial, la empresa de servicios de electricidad realiza los servicios delimitados en el sector doméstico, además de los siguientes que están vinculados a consideraciones especiales en términos de energía, tomando en cuenta las diferentes necesidades y requerimientos de los clientes:

- Instalación de equipos a 220 volts.
- Instalación de circuitos independientes.
- Instalación de medidores trifásicos.
- Planes de ahorro de energía.
- Balance de cargas eléctricas.

## Sector industrial

En el rubro industrial, la empresa de servicios de electricidad abarca los servicios indicados en el sector doméstico y comercial, además de realizar una gestión integral de instalaciones eléctricas, mediante la planeación basada en necesidades y requerimientos específicos de energía, tomando en cuenta el diseño de la ingeniería conceptual, básica y de detalle, el desarrollo, la ejecución, el seguimiento y el control de proyectos nuevos, remodelaciones y ampliación de instalaciones eléctricas.

- Instalación de equipos a 220 y 440 volts.
- Instalación de sistema de tierra.
- Servicio trifásico bajo normatividad de CFE.
- Distribución de circuitos.
- Cableado estructurado y ducto galvanizado.
- Iluminación *high bay*, suburbana y direccionada.
- Corrección de factor de potencia.
- Servicios industriales de paneles solares.

Los servicios eléctricos que realiza a nivel doméstico, comercial e industrial, requieren de una gestión administrativa, misma que se realiza en las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad, las cuales están ubicadas en la Alcaldía Xochimilco, en la Ciudad de México. Las instalaciones de la compañía se encuentran dentro de un predio habitacional, por lo que las áreas se dividen en uso empresarial, uso habitacional y uso mixto.

## Instalaciones

Las instalaciones cuentan con una superficie total de 255.25m<sup>2</sup> de construcción, de los cuales, la empresa de servicios de electricidad utiliza 161.75m<sup>2</sup>, espacio delimitado por usos mixtos y empresariales; los primeros se vinculan regularmente con áreas comunes, mientras que los últimos hacen referencia a zonas utilizadas solamente por la compañía. Los restantes 93.5 m<sup>2</sup> corresponden a actividades habitacionales. En la Figura 20 se delimitan los usos mixtos y habitacionales correspondientes a la planta baja y al primer piso de las instalaciones en la Alcaldía Xochimilco.

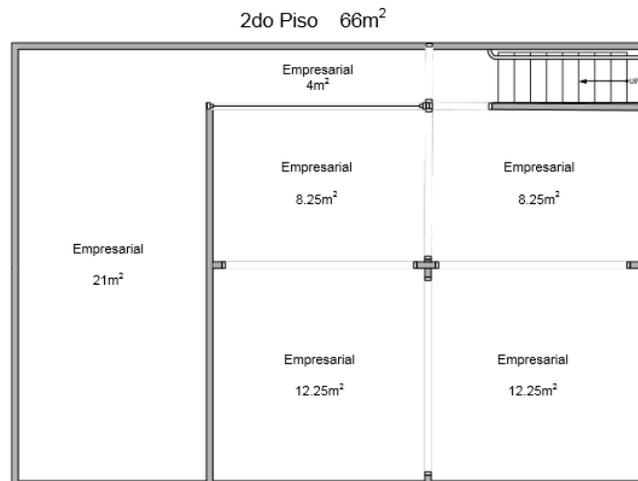
Figura 20. Usos mixtos y habitacionales de las instalaciones (planta baja y 1er piso)



Fuente: Datos de la empresa de servicios de electricidad (2021).

Las instalaciones relacionadas netamente con la empresa de servicios de electricidad se ubican en el segundo piso, donde el personal gestiona administrativamente la organización de la compañía. En la Figura 21 se muestra el plano de las instalaciones de uso empresarial.

Figura 21. Uso empresarial de las instalaciones (2do piso)



Fuente: Datos de la empresa de servicios de electricidad (2021).

Las actividades económicas y administrativas que realiza la empresa de servicios de electricidad resultan en la utilización de productos y materiales que, tras el fin de su uso o de su vida útil, derivan en la generación de múltiples residuos sólidos, incluyendo plásticos, papel y cartón y metales, siendo éstos últimos los de mayor volumen.

## 1.6.2 Generación y manejo de residuos en la empresa caso de estudio

Los insumos metálicos más utilizados por la empresa del caso de estudio son el acero galvanizado y el cobre, componentes de ciertas dimensiones y características físicas que, tras la realización de servicios, generan residuos, mismos que cuentan con alto potencial de reciclaje, por lo que es necesario promover su clasificación, separación, valorización y reinserción en cadenas productivas.

Inicialmente, el equipo operativo adquiere los insumos necesarios para la realización de los proyectos que se tienen programados, las cantidades son estimadas de acuerdo con los requerimientos de los clientes y las necesidades del espacio donde se realizan.

Una vez en campo, el equipo operativo emplea los insumos adquiridos previamente, mismos que son manipulados a través de herramientas de corte, con la finalidad de moldear los elementos, acorde con los requerimientos del espacio doméstico, comercial o industrial, por lo que se generan residuos durante el desarrollo del servicio.

Una vez cortados los materiales, los residuos son transportados y almacenados temporalmente en las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad, misma que cuenta con un almacén de reciclaje de 1m<sup>3</sup> donde se acopian los materiales de longitud menor a 10 m. que difícilmente pueden emplearse en instalaciones futuras.

El presente trabajo de investigación se enfoca en tres de los principales insumos de la empresa de servicios de electricidad: cable de cobre, tubos galvanizados y piezas de ensamble metálicas.

### Cable de cobre

El cable de cobre representa el principal insumo de la empresa de servicios de electricidad para la realización de las instalaciones eléctricas, ya que se utiliza en los tres ámbitos de proyección: doméstico, comercial e industrial. El cable es adquirido en rollos de 100 a 500m. de longitud, dependiendo de los requerimientos de las infraestructuras.

El cable con recubrimiento es adquirido en diferentes diámetros, de acuerdo con la clasificación American Wire Gauge (AWG), misma que determina una referencia de clasificación que especifica el diámetro, resistencia y medida de los cables eléctricos. El índice AGW presenta 44 clasificaciones, desde la medida más delgada con un calibre 40 de 0.07987 mm. hasta el más grueso con un calibre 0000 de diámetro 11.68 mm<sup>21</sup>. El calibre de cable empleado se encuentra relacionado con los requerimientos de los proyectos.

---

<sup>21</sup> Sabcables, "Construcciones de conductores americanas tabla de AWG", disponible en: <https://www.sabcables.eu/productos/datos-tecnicos/cables-electricos/construccionesdevenasamericanas.html>, fecha de consulta: 27 de noviembre de 2021.

Tabla 1. Calibres más utilizados por la empresa de servicios de electricidad

AWG	Diámetro del cable (mm)
00	9,27
0	8,25
2	6,54
8	3,26
10	2,59
12	2,05
14	1,63
16	1,29

Fuente: Sabcables (2021).

Una vez que la empresa de servicios de electricidad se encuentra en el servicio a realizar, el equipo operativo procede a utilizar el cable de acuerdo con las especificaciones del trabajo, por lo que los rollos son cortados de acuerdo con las dimensiones de la instalación, derivando en la generación de residuos que son destinados al almacén de reciclaje.

La empresa de servicios de electricidad elimina el aislante plástico del cable de cobre y obtiene el denominado: “cable desnudo”, el cual, dependiendo de su estado físico se separa y clasifica en cobre de 1ª y cobre de 2ª.

En materia de reciclaje, el cobre es uno de los residuos mejor valorados, no obstante, en relación con sus características físicas y químicas se clasifica en 5 tipos, con valores de mercado diferentes: cobre brillante desnudo, cobre de 1ª, cobre de 2ª, cobre de 1ª aislado y cobre de 2ª aislado.

Tabla 2. Clasificación de residuos de cobre

Clase	Características
Cobre brillante desnudo	Cable de cobre desnudo, sin revestir y sin alear, libre de cualquier pintura, impurezas u oxidación. No clasifica tubería de cobre.
Cobre de 1ª	Compuesto por barras colectoras, recortes, segmentos conmutadores y cables desnudos de al menos 1/16 pulgadas de diámetro sin revestir, sin alear y limpio en apariencia. Clasifica tubería de cobre, libre de accesorios, aislamiento, pintura, soldadura y otros materiales. Cantidades de oxidación generalmente aceptables.
Cobre de 2ª	Cobre con aspecto sucio, compuesto por cable desnudo sin aislamiento y más delgado que 16 pulgadas, tubería o metal sólido sin alear que continúe teniendo soldadura, pintura o cualquier tipo de recubrimiento. El contenido mínimo de cobre debe ser de 94-96%. Extremos y accesorios generalmente aceptados, así como oxidación de cables o tuberías.
Cobre de 1ª aislado	Cable de cobre limpio, sin alear, sin recubrimiento y sin estañar. Debe ser de plástico aislado, de calibre 16 o mayor, con todos los extremos cortados.
Cobre de 2ª aislado	Cable de cobre sin alear, más delgado que el calibre 16, incluye aislamiento pesado, doble o plástico. Clasifica cableado de telecomunicaciones, componentes electrónicos, revestimientos de chatarra como el estaño y el níquel, así como cierto grado de corrosión.

Fuente: Supraciclaje (2021).

Seguido de la clasificación, la empresa de servicios de electricidad empaqueta el cable desnudo en costales y lo almacena por alrededor de seis meses o hasta haber acumulado un peso de aproximadamente 500Kg. Finalmente, los residuos son transportados al centro de acopio ubicado en Tultitlán, Estado de México, para su posterior inserción en cadenas productivas.

## Tubos Galvanizados

La empresa de servicios de electricidad emplea protecciones especializadas en las instalaciones eléctricas, principalmente en los sectores comercial e industrial, a través del uso de tubos galvanizados que protegen el cable de posibles impactos, no sólo respecto al entorno, sino también en relación con las afectaciones del medio ambiente en proyectos realizados en el exterior, gracias a sus propiedades resistentes a la corrosión.

Figura 22. Tubos galvanizados



Fuente: Ferros Planes (2021).

### Medidas de los tubos galvanizados

- ½ pulgada.
- ¾ de pulgada.
- 1 ¼ de pulgada

La empresa de servicios de electricidad adquiere los tubos galvanizados de acuerdo con las medidas de grosor ya indicadas. El equipo operativo procede a utilizar los tubos de acuerdo con las especificaciones del trabajo, por lo que, en caso de que sea necesario se cortan, derivando en la generación de residuos que son acopiados en cajas de plástico de 35x35x70 cm.

Los tubos de acero galvanizados son almacenados entre una y dos semanas, para después ser destinados a agentes informales, mismos que recolectan los residuos directamente de la empresa de servicios de electricidad, los cuales son transportados a centros de acopio para su reciclaje y re inserción en cadenas productivas.

### Partes de ensamble

La empresa de servicios de electricidad utiliza diferentes tipos de piezas de ensamble metálicas para las instalaciones eléctricas a nivel doméstico, comercial e industrial, principalmente tornillos, pijas, abrazaderas, coples y conectores, los cuales son adquiridos en cantidades relacionadas con los proyectos a realizar.

### Ejemplos de elementos de ensamble metálicos

- Pija
- Tornillo
- Tuerca
- Rondana
- Abrazadera de uña
- Abrazadera omega
- Cople
- Conector
- Reducción

Una vez en las instalaciones del cliente, el equipo operativo procede a utilizar las partes de ensamble en los diferentes procesos de las instalaciones eléctricas, sin embargo, durante su manipulación las piezas sufren desgaste y cuando éste afecta su funcionalidad se consideran como residuos.

Al final del trabajo las piezas son reunidas y cargadas en la unidad de transporte para ser trasladadas, junto con las herramientas operativas, a la ubicación de la empresa de servicios de electricidad, donde son almacenadas por un periodo de una a dos semanas, para finalmente ser recolectadas por agentes informales, los cuales trasladan los residuos a centros de acopio para su posterior re inserción en cadenas productivas.

La empresa de servicios de electricidad genera múltiples residuos como parte de su actividad económica, sin embargo, los residuos metálicos son los que se generan en mayor cantidad en relación con el ramo de su actividad industrial, por lo que representa un caso adecuado para el estudio de un eslabón de Cadenas de Suministro Inversa de residuos metálicos, como objeto de análisis del presente proyecto de investigación.

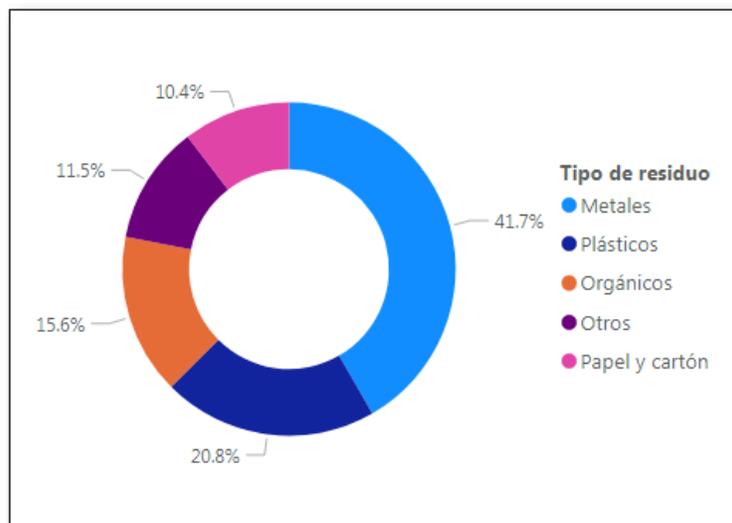
### 1.6.3 Oportunidades de eficiencia logística en el manejo de los residuos de la empresa caso de estudio

Se realizó una entrevista al director y fundador de la empresa de servicios de electricidad, con la finalidad de conocer las principales características, necesidades y problemáticas en torno a la generación y manejo de los RSU a partir de la actividad propia de la empresa.

De acuerdo a datos compartidos por el director de la empresa de servicios de electricidad, el principal tipo de residuo que genera la compañía es el metal, con 41.7% del total, seguido de los plásticos con 20.8%, residuos orgánicos con 15.6% y papel y cartón con 10.4%, mientras que los envases multicapa (5.2%), aparatos de alumbrado (2.1%), herramientas eléctricas y electrónicas (0.5%), instrumentos de vigilancia y control (0.5%), residuos de la construcción (1%) y focos ahorradores (2.1%) generan en conjunto el restante 11.5%.

Actualmente, la compañía únicamente valoriza los residuos metálicos, principalmente el cable de cobre y residuos ferrosos, incluyendo tubos galvanizados y piezas de ensamble, para estos últimos, la empresa sólo realiza la operación de adquisición en el almacén temporal, ya que tras una semana de resguardo, el personal de reciclaje informal colecta los residuos; no obstante, para la valorización del cobre la empresa realiza las siguientes operaciones de adquisición: recolección, almacenamiento temporal, manejo de materiales y transporte.

Figura 23. Residuos generados por la empresa de servicios de electricidad



Fuente: Datos de la empresa de servicios de electricidad (2021).

La compañía genera los residuos metálicos al llevar a cabo servicios de electricidad en la ubicación de los clientes, ya sea a nivel doméstico, comercial e industrial, residuos que transporta y colecta en un almacén temporal, donde realiza procesos de manejo como traslado, limpieza, clasificación, empaquetado, pesado y etiquetado, para finalmente transportarlo al centro de acopio para su reinserción en cadenas productivas.

## **Adquisición de los residuos de la empresa**

En cuanto a las actividades relacionadas con el proceso de adquisición de los residuos (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2015), se detectaron oportunidades de mejora relacionadas con el almacenamiento temporal, así como en el manejo de los materiales en relación con la limpieza, clasificación, selección y empaquetado de los residuos.

### **1. Almacenaje temporal**

La empresa de servicios de electricidad cuenta con una instalación física para su resguardo, sin embargo, no tiene delimitado ni adaptado un espacio que garantice la seguridad y la calidad del cable con recubrimiento ante el deterioro que puede causar el polvo, la humedad y la lluvia.

Una vez que se le retira el aislante plástico al cable, es almacenado nuevamente, sin embargo, al igual que el cable con recubrimiento, la empresa no cuenta con un espacio adecuado para garantizar la seguridad, calidad, monitoreo y control del residuo, por lo que lo vuelve susceptible de robo y deterioro, además de la falta de delimitación de cuánto tiempo o volumen es necesario almacenar el cable desnudo.

Al no contar con un espacio adecuado y almacenar los residuos durante un periodo considerable, el cable presenta un deterioro, principalmente vinculado a procesos de oxidación, por lo que puede llegar a perder valor durante su permanencia en el almacén temporal, además de un mayor riesgo de robo inherente al valor del cobre en el mercado del reciclaje.

La alternativa se centra en analizar las necesidades de capacidad y costos de la empresa de servicios de electricidad e identificar espacios disponibles dentro y fuera de sus instalaciones que se adecúen y resguarden la seguridad, la calidad y el control del cable sin recubrimiento.

### **2. Manejo de los materiales**

En cuanto a los procesos de manejo, la empresa aprovecha tiempos libres, es decir, cuando no se tienen servicios programados, para realizar la eliminación del aislante plástico, la clasificación y separación del cobre de 1ª y cobre de 2ª, así como el empaquetado y etiquetado de residuos.

El primer proceso es eliminar el recubrimiento de plástico, donde se destina una hora para valorizar alrededor de 3 Kg de residuo, seguido de la clasificación de cable desnudo de 1ª y de 2ª y el empaquetado que involucra emplear y embalar bobinas de cobre de 50 Kg. en costales, para después pesar los costales y registrar el dato en etiquetas autoadheribles, procesos que en conjunto requieren una hora para cada 17.5 Kg. de residuos.

Existe la posibilidad de que, desde el acopio de los residuos, el cable ya presente condiciones de deterioro, suciedad y oxidación, por lo que, una alternativa para proporcionar un mayor valor a los residuos, es la limpieza del cable desnudo clasificado de 2ª, con la finalidad de eliminar cualquier suciedad y oxidación y poder clasificarlo y venderlo como cobre de 1ª, lo cual podría representar mayores

beneficios económicos para la empresa de servicios de electricidad, dependiendo de los costos inherentes al proceso de limpieza.

## **Procesos de Transporte**

Con respecto a las actividades vinculadas con el traslado de los residuos del almacén temporal al centro de acopio, es posible promover procesos más eficientes en términos operativos ante el análisis del modo de transporte empleado, la estructura de la red, la capacidad del vehículo y los riesgos asociados al valor del cobre en el mercado del reciclaje, con respecto a su traslado del origen al destino (Sánchez-Lara, 2019).

### **1. Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo**

Hasta el momento, la empresa de servicios de electricidad únicamente ha transportado en dos ocasiones, grandes volúmenes de residuos de cobre a centros de acopio (superior a media tonelada), ya que, la valorización del cobre es un proceso integrado recientemente en la compañía y, hasta el momento, consolida en el almacén temporal las cantidades que se van acumulando de los servicios realizados, hasta alcanzar un peso de aproximadamente media tonelada, lo que puede representar un periodo de entre seis meses y un año, debido a la variabilidad del volumen en la generación de residuos vinculada a la cantidad y tipo de servicios realizados en el periodo.

El peso de la carga en las dos ocasiones que ha retornado residuos en grandes cantidades se encuentra en promedio de 500 Kg, aunado a 450 Kg. correspondiente a la suma del peso de los cuatro trabajadores más el operador del vehículo (promedio de 90 Kg. por persona), un total de 950 Kg., frente a los 1,500 Kg. de capacidad de carga del vehículo. En ese sentido, se dice que la capacidad del vehículo se encuentra desaprovechada en poco más del 36% con respecto al volumen de residuos que se transportan del almacén temporal al centro de acopio.

La alternativa es definir la cantidad de residuos a trasladar del almacén temporal al centro de acopio que promueva una mejor eficiencia con respecto al aprovechamiento de la capacidad del vehículo, tomando en cuenta el tiempo que se requiere acopiar los residuos en el almacén temporal, la capacidad del almacén temporal, la capacidad del vehículo, costos del almacenaje y transporte y la cantidad de viajes en un periodo determinado, analizando la situación actual y un escenario que promueva mejora en la eficiencia logística en términos de costos.

### **2. Diseño de la red de transporte**

En relación a la red de transporte, se considera únicamente el tramo del almacén temporal al centro de acopio, ya que la sección relacionada con el acopio de los residuos no presenta importancia para efectos de un análisis que promueva la eficiencia logística, tomando en cuenta que la empresa de servicios de electricidad invariablemente debe retornar del nodo donde realiza el servicio correspondiente, al almacén temporal, debido a que es el sitio donde se resguarda el vehículo, por lo que, en cada servicio, los residuos que se generan son trasladados al almacén temporal como parte de la ruta de la unidad operativa, con múltiples orígenes y un destino.

Actualmente, la red en cuestión está conformada únicamente por dos nodos, el almacén temporal y el centro de acopio, ya que se trata de un servicio directo FTL (Full Truck Load), el cual no considera nodos de consolidación, entrega ni recolección en la ruta.

Tomando en cuenta que la red de transporte de la empresa de servicios de electricidad únicamente cuenta con dos nodos, la alternativa se centra en el análisis del eslabón del centro de acopio, ya que es una decisión que se toma al momento de que se considera necesario valorizar los residuos.

Se promueve un análisis costo-beneficio para definir la alternativa óptima de centro de acopio para la valorización de los residuos, considerando el costo de combustible de acuerdo con la distancia entre el almacén temporal y la alternativa de centro de acopio, así como el cumplimiento de requerimientos en cuanto a los procesos internos del centro de acopio como la inmediatez del pago de los residuos, la utilización de báscula certificada, registro y autorización de manejo de Residuos Sólidos Urbanos ante la SEDEMA (RAMIR)<sup>22</sup>, así como el precio de compra de cobre de 1ª y cobre de 2ª.

### **3. Actuación de Agentes Logísticos**

Actualmente, la empresa de servicios de electricidad no contrata ningún tipo de servicio de Agentes Logísticos para la realización de operaciones de adquisición ni de transporte, ya que emplea sus propios recursos para la recolección de los residuos desde las fuentes generadoras, el almacén temporal, el manejo de materiales y el traslado de los residuos al centro de acopio, para lo cual, aprovecha los tiempos libres que se presentan en la organización, utiliza a cinco de sus trabajadores y emplea su vehículo operativo de 1.5 toneladas, el mismo utilizado para la realización de los servicios de la empresa, lo que deriva en paralizar la actividad económica de la organización durante el tiempo que dura el retorno de los residuos.

La alternativa con relación al modo de transporte es analizar si es viable en términos de costo-beneficio tercerizar el traslado de los residuos, del almacén temporal al centro de acopio, mediante la contratación de una empresa de transporte, con la finalidad de evitar la incidencia de la valorización en la operación diaria de la empresa de servicios de electricidad, para lo cual, es necesario incluir los costos correspondientes dentro del análisis costo-beneficio, con la finalidad de identificar si aún con la implementación de la alternativa, la empresa continúa obteniendo un mayor beneficio en la valorización de los residuos.

---

<sup>22</sup> SEDEMA, “Registro y Autorización de Establecimientos Mercantiles, de servicios y/o unidades de transporte relacionados con el manejo integral de residuos sólidos urbanos y/o de manejo especial de competencia local que operen y transiten en la CDMX (RAMIR)”, disponible en: [RAMIR \(cdmx.gob.mx\)](http://RAMIR.cdmx.gob.mx), fecha de consulta 10 de junio de 2022.

#### **4. Balance de costos de transporte**

La empresa de servicios de electricidad realiza múltiples procesos vinculados con el acopio y el traslado de los residuos, sin embargo, no cuenta con registros sobre los costos que ello representa, por lo que no tiene conocimiento de cuánto le cuesta a la empresa la recolección de los residuos, el almacenamiento temporal, el manejo de los materiales y su traslado al centro de acopio. De igual manera, la empresa no conoce si está obteniendo un beneficio a través de la valorización de los residuos. Por lo que, se propone como alternativa un análisis de costo-beneficio, a través del cual, se determine la relación que existe entre los costos en los que incurre la empresa en el acopio y traslado de los residuos y los beneficios que obtiene de su valorización.

##### **1.6.4 Problema, justificación, alcance y objetivo de la tesis**

La generación de residuos en la CDMX ha crecido de manera constante a lo largo de los años, como resultado del ritmo de vida de consumo que se promueve en la sociedad, el incremento de los ingresos y el aumento de la población. Actualmente, se generan poco más de 13 mil toneladas de residuos en la CDMX, de los cuales, alrededor del 60% se destina a disposición final, eliminando casi por completo la posibilidad de valorización. La principal fuente de generación de RSU en la CDMX es la domiciliaria, con el 48.10% del total, mientras que los residuos metálicos se encuentran en el tercer puesto en cuanto a generación de residuos con potencial de reciclaje, con un 17.2% del total (SEDEMA, 2020).

El problema del incremento en la generación de residuos, se acentúa con un bajo aprovechamiento de los mismos, en el caso de los residuos metálicos, únicamente se aprovecha el 3% del total de residuos generados, contrario al amplio potencial de reciclaje que presentan gracias a sus características físicas y químicas, el cual es posible aprovechar, principalmente, gracias al proceso de fundición, mediante el cual es viable elaborar nuevos productos que pueden ser reinsertados en cadenas productivas vinculadas con la industria de la construcción, la transformación, la automotriz, la eléctrica, entre otras (SEDEMA, 2020).

El crecimiento en la generación de los residuos y un escaso aprovechamiento de los mismos, requiere un mayor énfasis en la valorización de los materiales para promover la extensión del ciclo de vida de los residuos y disminuir así la cantidad que es destinada a SDF, de ahí la importancia de las Cadenas de Suministro Inversas (CSI), estructuras de agentes económicos y procesos donde es factible la valorización de los residuos con base en Operaciones Logísticas de Adquisición (OLA) y Operaciones Logísticas de Transporte (OLT).

Las OLA y OLT son parte de las CSI que permiten la valorización de los residuos. Se consideran entre ellas: la generación, el acopio, el almacenamiento, el manejo de materiales y el transporte, que permiten reinsertar los materiales a cadenas productivas, disminuir los residuos destinados a SDF y extender la vida de los residuos, promoviendo externalidades positivas vinculadas con el medioambiente.

Es a partir de la caracterización de las OLA y OLT que es posible identificar la naturaleza, actores, agentes y canales de distribución de la CSI, así como realizar un análisis de sus características para detectar áreas de oportunidad en términos logísticos y establecer alternativas que impulsen una eficiencia dentro del proceso de valorización de los residuos.

La caracterización de la CSI de los residuos metálicos, considerando a la empresa caso de estudio como uno de sus eslabones, describe a las OLA y OLT que agregan valor a los residuos metálicos generados, así como las vulnerabilidades logísticas identificadas en el proceso de almacenamiento temporal, manejo de materiales, aprovechamiento de la capacidad del vehículo, actuación de agentes logísticos, gestión de la fricción logística, diseño de la red de transporte y balance de costos. Esto da pauta a estudios de análisis costo-beneficio para establecer y evaluar alternativas que inciden, no sólo en la valorización de los materiales, sino también en las operaciones de la empresa de servicios de electricidad y de la CSI que valoriza residuos metálicos.

Como ocurre con otras CSI, la CSI que valoriza residuos metálicos está conformada por pequeñas y múltiples empresas generadoras, almacenes temporales, centros de distribución, centros de acopio, diferenciados por el nivel de inversión para agregar valor a los materiales recuperados y por las cantidades que reciben, y finalmente, las cadenas productivas en donde se reinsertan los materiales para iniciar nuevamente el ciclo.

La empresa caso de estudio es un eslabón de la CSI de residuos ferrosos y no ferrosos, que realiza OLA y OLT para valorizar los residuos que genera. Mediante su caracterización, se detectaron las siguientes áreas de oportunidad:

- La falta de un espacio que asegure el control, la seguridad, la calidad y el monitoreo de los residuos acopiados en el almacén temporal,
- el bajo valor de recuperación del cobre de 2ª calidad que se presenta con óxido y suciedad,
- el desaprovechamiento de la capacidad del vehículo para el traslado de los residuos al centro de acopio,
- la falta de un centro de acopio que se adecúe a las necesidades y requerimientos de la empresa y
- la incidencia en las operaciones de la compañía al emplear recursos inherentes a sus actividades económicas.

La identificación de vulnerabilidades en las OLA y OLT, da pauta al establecimiento de las siguientes alternativas que buscan impulsar una mejora en la eficiencia logística en el proceso de valorización de los residuos: delimitación de un espacio, dentro o fuera de las instalaciones de la empresa, que garantice la seguridad, la calidad, el control y el monitoreo del cable con y sin recubrimiento, limpieza del cable desnudo de 2ª, promover una eficiencia en el aprovechamiento de la capacidad del vehículo en el traslado de los materiales al centro de acopio, definir la mejor alternativa de centro de acopio para la valorización de los residuos y análisis de viabilidad en la tercerización del traslado de los materiales al centro de acopio.

Así el objetivo de esta tesis es:

Llevar a cabo un análisis costo-beneficio respecto de las alternativas señaladas en el apartado anterior. Los resultados del análisis buscan promover mejoras logísticas en el proceso de valorización de los residuos a partir de la cuantificación de costos y beneficios de la logística inversa.

Para el logro del objetivo, se requirió el registro de las OLA y OLT para determinar cuánto le cuesta a la empresa de servicios de electricidad la valorización de los materiales, seguido de contemplar cada una de las alternativas como factores de análisis de costo ante su implementación, así como los beneficios adicionales que representan, finalmente se verifica qué combinación de alternativas representa una mejor opción en relación de costo-beneficio, para promover mejoras logísticas en el proceso de valorización de los residuos. El presente proyecto se delimita a identificar y analizar las alternativas propuestas, por lo que su aplicación y validación no forman parte del alcance.

El alcance del proyecto incluye decisiones de Logística Inversa de reciclaje y disposición de residuos en la empresa de servicios de electricidad. Análisis costo-beneficio en Logística Inversa. Materiales de retorno clasificados como Residuos Sólidos Urbanos metálicos, ferrosos y no ferrosos, reciclados en centros de acopio que aprovechan economías de escala para su reinserción en cadenas productivas.

El trabajo es un referente de identificación de factores de análisis, áreas de oportunidad y búsqueda de mejoras de eficiencia logística dentro del proceso de valorización de materiales, para compañías con características similares a la empresa caso de estudio, que sean parte de CSI que valorizan residuos metálicos, con la finalidad de incentivar el aprovechamiento de los residuos, el aumento del ciclo de vida de los materiales y la reducción de residuos metálicos enviados a SDF en la CDMX.

## **CAPÍTULO 2. Balance costo-beneficio y Operaciones Logísticas de Adquisición y Transporte**

El presente proyecto se enmarca en una investigación exploratoria de carácter cuantitativo, basado en la Teoría Fundamentada (TF). Se enfoca al desarrollo de constructos y teorías sobre fenómenos contemporáneos, en este caso, la caracterización de Cadenas de Suministro Inversas, Operaciones Logísticas de Adquisición y Transporte, así como el análisis costo-beneficio de la valorización de residuos. La TF implica la colecta y verificación de datos, lo que permite ser conscientes de las contingencias que afectan las hipótesis que guían la investigación e ir más allá del objetivo inicial de estudio, útil en investigaciones exploratorias.

La colecta de los datos sigue la guía propuesta por Ellram (1998), quien plantea la necesidad de una observación extensiva de las operaciones y actividades de Logística Inversa del caso de estudio, mediante entrevistas, archivos y registros documentales, incluyendo registros de servicio al cliente, registros contables, documentos de costos operacionales, documentos de costos de transporte, reportes de costos de SDF, entre otros, información que debe ser manejada con estricta confidencialidad.

El proyecto se encauza en un caso de estudio, a partir de las afirmaciones de McCutcheon y Meredith (1993), que señalan que la proposición de prueba puede demostrar la aplicabilidad de la teoría o la falta de aplicabilidad bajo condiciones no investigadas previamente. Un caso de estudio puede ser una herramienta eficaz para establecer límites en la generalidad de la teoría o para refutarla totalmente y provee un alto grado de control para probar una nueva teoría o comparar múltiples teorías.

Asimismo, se consideran los preceptos de Dowlatshahi (2010) para la realización de un análisis costo beneficio en logística inversa: planteamiento de un marco conceptual, identificación de factores de análisis, proposición de mejoras y comunicación del conocimiento adquirido.

El marco conceptual está determinado por las CSI, la caracterización de CSI y las OLA y OLT. Para la identificación de factores de análisis se toma en cuenta la propuesta de Gómez-Maturano, & Sánchez-Lara (2018), que plantean la caracterización de la naturaleza, los procesos, los agentes y los canales de distribución en las CSI y se contempla la observación y colecta de datos de las OLA y OLT de acuerdo con Sánchez-Lara (2019).

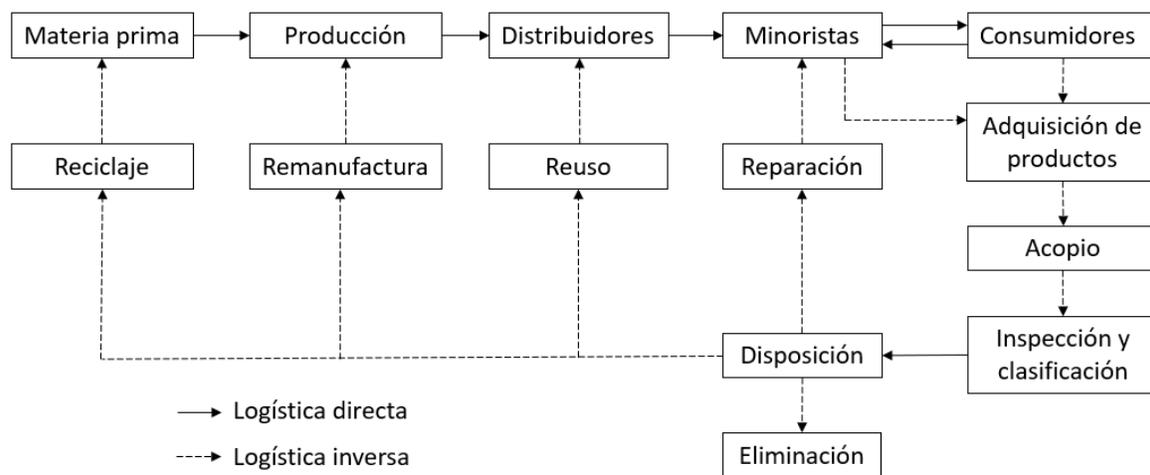
La observación y colecta de datos de las OLA y OLT, determina las áreas de oportunidad del caso de estudio, a partir del cálculo de los costos y beneficios totales relacionados en el proceso de Logística Inversa. El cálculo se realiza a partir de la propuesta de Ya-Ping (2012), que plantea las fórmulas que se encuentran implicadas de forma general en cualquier entidad que promueva procesos de Logística Inversa.

Se plantean alternativas en las OLA y OLT, tomando en cuenta los costos y beneficios. El conocimiento adquirido se comunica en los resultados del análisis, haciendo énfasis en las alternativas que suscitan un mayor beneficio con respecto a los costos de las operaciones logísticas del caso de estudio.

## 2.1 Cadenas de Suministro Inversas

El flujo inverso involucra una relación e integración de eslabones desde minoristas o consumidores, a distribuidores, fabricantes y proveedores de materia prima. Dependiendo del estado de los materiales y productos, del proceso al que sean sometidos (adquisición, recolección e inspección), así como del mercado de demanda, será el destino de los materiales y productos (Agrawal et al., 2015). La Figura 24 muestra las actividades y procesos que forman parte de una Cadena de Suministro Inversa.

Figura 24. Flujo directo e inverso en una Cadena de Suministro



Fuente: Agrawal et al. 2015

Guide et al. (2003) señalan que una CSI está constituida por los procesos necesarios para recuperar un producto usado, para deshacerse de este o para reutilizarlo. Por su parte, Kinobe et al. (2012) señalan como procesos de las CSI: la reutilización, el reciclaje y la disposición final del residuo y/o sus componentes y materiales. Nakashima y Gupta (2013), más que en los procesos, enfatizan en la recuperación del valor sobrante de los residuos para un mercado. En general, las CSI se conforman bajo un enfoque de eficiencia, esto es, la creación de valor económico con menores impactos sociales y ambientales.

La Logística Inversa es una rama de la Cadena de Suministro cuya primera definición fue propuesta por el Council of Logistics Management en 1992 (Martínez, Julio; García, María, 2014):

“...El termino comúnmente usado para referirse al rol de la logística en el reciclaje, disposición de desperdicios y el manejo de materiales peligrosos; una perspectiva más amplia incluye todo lo relacionado con las actividades logísticas llevadas a cabo en la reducción de entrada, reciclaje, sustitución y reúso de materiales y su disposición final.”

Para efectos del presente proyecto de investigación se opta por la definición del Reverse Logistic Executive Council, que define a la Logística Inversa como:

"el proceso de mover bienes de su destino final típico a otro punto, con el propósito de capturar valor que, de otra manera no estaría disponible, para la disposición apropiada de los productos" (Haller, Erika Pamela, 2010).

Definición que engloba el concepto de recuperación de uno o varios de los componentes y/o del empaque del producto e igualmente toma en cuenta los procesos de valorización como el reciclado, la disminución de residuos, reutilización, reparación, remanufactura y sustitución de materiales, así como la eliminación y disposición de los residuos (Guide, Jayaraman, & Linton, 2003; Kinobe, Gebresenbet y Vinneras, 2012; Nakashima y Gupta, 2013).

### **2.1.1 Caracterización de Cadenas de Suministro Inversas**

La caracterización de la Cadena de Suministro Inversa de la empresa caso de estudio se plantea de acuerdo con las concepciones estructuradas por Gómez-Maturano, & Sánchez-Lara (2018), quienes proponen un procedimiento para identificar la naturaleza del residuo a retornar, los procesos realizados, así como los canales de distribución y agentes que intervienen en la CSI.

#### **Naturaleza**

La naturaleza de la CSI es el conjunto de las características del residuo, la composición física de los productos y materiales, así como el valor del residuo en función de su peso y volumen; fuente de generación; destino de los productos y materiales; alcance de la CSI; además del modelo (impulsado desde el origen o atraído desde el destino).

#### **Procesos**

Existen cuatro principales procesos en las CSI: generación, adquisición, valorización y reintegración, mismos que se desagregan en múltiples actividades de acuerdo con las características del tipo de retorno, el tipo de producto y las condiciones económicas y tecnológicas de cada caso particular.

- **Generación.** Donde se consumen los productos y los materiales resultantes se presentan sin valor o presenta algún defecto que promueva su devolución.
- **Adquisición.** Actividades correspondientes a la recolección, inspección, selección, almacenamiento, consolidación y transporte de la fuente generadora a un almacén temporal.
- **Valorización.** Actividades que tienen la finalidad de recuperar el valor económico y funcional de los residuos: limpieza, inspección, selección, desmontado, reúso, reciclaje, remanufactura, reparación y restauración.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Reusar: reutilizar materiales en buen estado. Reciclar: emplear residuos como materia prima para crear nuevos productos. Remanufacturar: proceso por el cual se consigue devolver un producto ya en el final del

- **Reintegración.** Reinsertar los residuos en la misma línea o en otras cadenas productivas, implica la venta, el almacenaje y el transporte de los productos y materiales del almacén temporal al punto de destino.

### **Canales**

El canal de distribución se refiere a los flujos inversos por los que pasa el residuo desde su generación y almacenaje temporal, hasta su re inserción en cadenas productivas. Pueden ser formales, informales o mixtos, dependiendo de las unidades económicas o agentes que participan.

A su vez, los canales pueden clasificarse de acuerdo con la cantidad de eslabones intermediarios, ya sea en largos, con un gran número de intermediarios, cortos, con un número reducido y en directos, los cuales no presentan intermediarios entre la fuente generadora y el reintegrador.

### **Agentes**

Los agentes vinculados a CSI están determinados por los nodos que intervienen dentro de los procesos de generación, adquisición, valorización y distribución y pueden agruparse de acuerdo con las actividades que realizan.

- **Agente generador.** Es aquel que genera el residuo.
- **Agente adquirente.** Se trata de la persona, empresa u organización que recolecta los residuos de la fuente de generación y los consolida en un almacén temporal.
- **Agente valorizador.** Es aquel que realiza actividades que agregan valor económico y funcional al residuo.
- **Agente reintegrador.** Se encarga de destinar el residuo a un mercado demandante donde se promueve su aprovechamiento.

La caracterización de la CSI promueve la identificación de factores críticos vinculados con OLA; como recolección, almacenamiento temporal, manejo de materiales y transporte; así como OLT; incluyendo capacidad del transporte, diseño de la red de transporte y balance de costos de transporte.

---

ciclo de vida al estado nuevo, con una calidad equivalente o superior a la del producto original. Reparar: alargar la vida de un producto. Restaurar: recuperar el estado que tenía un producto (Gutiérrez, 2022).

## 2.2 Operaciones Logísticas de Adquisición

Las Operaciones Logísticas de Adquisición forman parte de los procesos de las CSI. Están vinculadas con aquellas actividades entre la generación de los residuos y su valorización<sup>24</sup>:

- **Recolección.** Recuperar los materiales valorizables en los lugares donde se generan o almacenan temporalmente para transportarlos a centros de acopio.
- **Almacenamiento temporal.** Ubicar los materiales recuperados en recipientes o espacios apropiados de acuerdo con su cantidad y tipo.
- **Manejo de materiales.** Movimiento de los residuos dentro del almacén: embalaje, manipulación, transporte interno, carga y descarga.
- **Transporte.** Desplazamiento de los residuos desde los puntos de almacenamiento temporal a ET, plantas industriales de tratamiento o relleno sanitario.
- **Transferencia.** Traspaleo de los residuos desde los vehículos recolectores a otros vehículos con mayor capacidad de carga.

Una vez que se realiza la recolección de los residuos desde la fuente generadora y se resguardan en almacenes temporales, se procede a agregar valor a través de diferentes actividades, con la finalidad de obtener beneficios económicos y medioambientales al reinsertarlos en cadenas productivas.

## 2.3 Valorización de residuos

La recuperación del valor del producto (PVR, por sus siglas en inglés) incluye cuatro aspectos funcionales: recuperación, inspección y clasificación de los bienes, preprocesamiento y diseño de la red de logística inversa; mismos que incluyen decisiones estratégicas, tácticas y operativas. En el primer rubro se encuentra la ubicación y capacidad de las instalaciones para la clasificación y retrabajo, así como la delimitación de canales de distribución; en el segundo se incluye la programación de los periodos de recogida de los retornos y las actividades de retrabajo; mientras que el tercero, ubica el uso de tecnologías de información y comunicación que facilitan la gestión de los retornos<sup>25</sup>.

De acuerdo con De Brito (2002), para la valorización de los residuos se requieren cuatro agentes: fuentes de generación, recolectores, procesadores y mercados demandantes, así como motivadores para agregar valor a los materiales y productos, como el caso de entidades reguladoras de normas medio ambientales, organizaciones e incluso eslabones de la CSI como proveedores y clientes.

---

<sup>24</sup> Gaceta Oficial del Distrito Federal, “Norma Ambiental NADF-024-AMBT 2013 sobre Separación, Clasificación, Recolección Selectiva y Almacenamiento de los Residuos del Distrito Federal” (2015), disponible en: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/NADF-024-AMBT-2013.pdf>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

<sup>25</sup> The Logistics World, “Recuperación de valor: la logística inversa”, disponible en: <https://thelogisticsworld.com/historico/recuperacion-de-valor-la-logistica-inversa/>, fecha de consulta: 27 de abril de 2021.

A fin de impulsar el PVR se requiere de un análisis que determine el potencial de recuperación de los residuos, el cual contemple el estado del residuo, sus características principales, grado de peligrosidad, el destino, lugar de almacenamiento y las actividades que serán necesarias para agregarle valor, incluyendo herramientas y maquinaria adecuadas.

La aplicación de logística inversa dentro del proceso de valorización de residuos requiere de su caracterización a fin de identificar lo siguiente (Mar-Ortiz, & García, 2014):

1. La motivación. El detonador que impulsa el programa de recuperación de materiales.
2. La tipificación de ítems recuperados. Cada retorno requiere cadenas inversas apropiadas a las características de los materiales para optimizar su valor de recuperación.
3. La delimitación de la alternativa de recuperación. Directa (reúso, reventa, redistribución) o indirecta (reparación, remanufactura, reciclaje o reprocesamiento).
4. Los actores involucrados y el tipo de retorno. Interno (materiales retornados en la fase de producción) o externo (productos que ya han salido de la planta de manufactura).
5. Los beneficios por el valor agregado.

### **Formas de recuperación del valor de un producto**

La gestión de los retornos y las actividades relacionadas con la logística inversa que la soportan, dependen de la forma de recuperación de valor que se aplique. Si se trata de reparación o renovación, es posible utilizar la misma cadena de distribución, agregando centros especializados cercanos a las instalaciones del cliente; no obstante, en caso de remanufactura, el costo se eleva al requerir una inspección minuciosa de los componentes que pueden ser reutilizados y la delimitación de estándares para mantener la calidad de los productos transformados, además de que es necesario planificar y desarrollar nuevos canales de distribución de acuerdo al mercado al que se va a incursionar.

Adicionalmente, existe la canibalización y el reciclaje, alternativa de PVR que no pretenden renovar la funcionalidad de los productos, sino únicamente reutilizar uno o varios de sus componentes mediante una separación selectiva de elementos con valor potencial, misma que está determinada por la aplicación de estándares de calidad en relación con el destino del residuo, ya sea, para su utilización en la misma línea o para su uso en otros procesos productivos.

El reciclaje de componentes resulta en una menor recuperación que si se opta por la reparación, renovación o remanufactura, por lo que la mayoría de las organizaciones busca tercerizar el proceso a centros de acopio o sitios de transformación, donde se aprovecha el modelo de economías de escala para obtener el mayor beneficio al recibir residuos de múltiples entidades.

A fin de promover la recuperación del valor de los productos es necesario considerar lo siguiente:

- **Costos de la alternativa:** Costos logísticos (transporte, manejo, almacenaje y redistribución) y de retrabajo (mano de obra, uso de equipo y herramientas para la recuperación del valor de los productos).
- **Ganancias potenciales:** Vinculadas no sólo a los márgenes de utilidad, sino también aquellos gastos en los que no se incurre debido a la aplicación de políticas medioambientales, la regulación existente y los efectos económicos de la promoción de responsabilidad social empresarial ante los consumidores.
- **Condiciones del mercado:** El tamaño y el valor del mercado relacionado con la reparación, renovación, remanufactura y reciclaje de productos define el atractivo de las actividades de PVR para las compañías.
- **Conciencia ecológica:** La cultura ambiental que la sociedad presenta ante la utilización de productos retrabajados, el aumento del ciclo de vida de los materiales y la disminución de la cantidad de residuos trasladada a SDF, es determinante para la sostenibilidad y eficiencia de inventarios, planeación de actividades de retrabajo y comercialización de productos de flujo inverso.
- **Capacidades de la cadena de suministro:** Es necesario identificar los recursos disponibles (tecnología, infraestructura y conocimientos) y aquellos que son requeridos para llevar a cabo las opciones de PVR, a fin de determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto de valorización.
- **Regulaciones ambientales:** Se requiere tener en cuenta la normatividad relacionada con la disposición de residuos, para la toma de decisiones organizacionales vinculadas con retorno de materiales y logística inversa<sup>26</sup>.

Una vez que se ha procedido con la valorización de los residuos, el siguiente proceso dentro de las CSI es el transporte, el cual implica especificaciones inherentes al traslado de los residuos desde el punto de almacenamiento temporal al sitio de aprovechamiento o disposición.

---

<sup>26</sup> *Ibíd.*

## 2.4 Operaciones Logísticas de Transporte

Las operaciones Logísticas de Transporte (OLT) están ligadas al desplazamiento de los residuos a sitios de aprovechamiento, transformación o incluso de disposición final (Sánchez-Lara, 2019):

- **Definición y operación de los modos de transporte.** Se encuentra en función del tamaño de la carga, la capacidad del vehículo y la relación precio-volumen, tomando en cuenta dos alternativas principales: multimodal e intermodal.
- **Aprovechamiento de la capacidad del transporte.** Está relacionada con la cantidad de carga enviada en función de la capacidad del transporte, las capacidades económicas de la organización y las necesidades que se desean cubrir. Existen dos alternativas: Less Than Truckload (LTL) y Full Truck Load (FTL); la primera corresponde al envío de carga consolidada, representa un menor costo y un mayor tiempo de traslado y riesgo ante la manipulación de la carga, mientras que la segunda hace referencia a la utilización de un vehículo completo, configurando mayores costos, frente a un menor tiempo y riesgos inherentes a la manipulación.
- **Diseño de la red de transporte.** Se forma a partir de múltiples variables: tipo de residuo, mercado, modo de transporte, capacidad del vehículo, infraestructura vial disponible, instalaciones de proveedores, productores y clientes, costos asociados e incluso la tecnología disponible de información y comunicación.
- **Definición del perfil del transportista.** Las capacidades físicas y técnicas, aptitudes, conocimientos de la carga, ruta y vehículo, habilidades, comportamiento de conducción, personalidad, aspectos normativos e incluso el nivel de satisfacción laboral del operador inciden directamente en costos, riesgos y el cumplimiento de los requerimientos del servicio de transporte, por lo que es de suma importancia la planificación, el desarrollo y el control del perfil del transportista.
- **Actuación de agentes logísticos.** De suma importancia para el cumplimiento de los requerimientos de transporte.
- **Gestión del riesgo en el transporte.** Se identifican tres principales riesgos en el transporte: retraso en el envío, no arribo de la carga a su destino final y el riesgo inherente al tipo de mercancía.
- **Gestión de la fricción logística.** Implica la administración de factores que limitan el flujo continuo de residuos, como costos de transporte, organización de la cadena de suministro inversa, ambiente transaccional y entornos en los que se desarrolla la distribución de los materiales.
- **Balance de costos de transporte.** El balance de costos involucra el análisis de los diferentes eslabones que integran la CSI y sus funciones objetivo, a fin de determinar un equilibrio sistémico en términos financieros. El balance de costos depende de los factores a considerar, incluyendo costos de transporte (distancia, tiempo, tamaño de la flota, ruta, capacidad instalada, periodo de operación), capacidad de respuesta, número de instalaciones, inventario, etc. (Gómez-Maturano, & Sánchez-Lara (2018).

## 2.5 Balance de costo-beneficio

El análisis de costo beneficio busca la reducción de costos y el mejoramiento de los beneficios operativos a partir del estudio detallado y entendimiento de los costos en los que incurre una compañía en la implementación de Logística Inversa, así como de los beneficios que se obtienen de la valorización de los residuos.

### **Planteamientos vinculados al análisis costo-beneficio en materia de Logística Inversa:**

1. El análisis costo-beneficio es uno de los aspectos más importantes que determinan la efectividad y viabilidad del flujo inverso (Dowlatshahi, 2010).
2. El análisis costo-beneficio debe ser desarrollado en orden de determinar el valor de los productos retornados y los costos operativos asociados con su remanufactura o reciclaje (Stock, 2001).
3. Tibben-Lembke (1998) argumentó que el costo de tener residuos es un factor importante en el cálculo del costo total de propiedad.
4. Impacta significativamente en la rentabilidad de la empresa al reclamar el valor de los materiales y productos retornados (Andel 1997).
5. Su implementación exitosa puede resultar en la obtención de ganancias (Stock 1998).
6. La recuperación de productos para remanufactura, la reparación, la reconfiguración y el reciclaje pueden crear oportunidades de negocio rentables (Giuntini y Andel 1995).
7. Rogers y Tibben-Lembke (2001) afirmaron que, para industrias específicas, sus actividades pueden ser críticas para la firma. Cuando el valor de los productos es amplio se debe hacer un esfuerzo mayor para mejorar los procesos de retorno.

Si el material retornado tiene un costo de procesamiento de reutilización más alto que los ingresos que se espera generar, entonces no será redituable reutilizar el residuo y deberá ser transportado a una instalación adecuada para su disposición. En esta etapa es importante realizar pruebas técnicas para determinar la integridad de los residuos, el grado de usabilidad, así como la viabilidad económica y técnica de los materiales (Dowlatshahi, 2010).

Una vez que las referencias económicas y técnicas son aceptables, los materiales pueden ser considerados para fines de reúso, mismos que pueden ser procesados dentro de la misma compañía o en mercados secundarios si la capacidad de procesamiento se encuentra fuera de la competencia central de la empresa (Dowlatshahi, 2010).

Asumiendo que una operación dentro de la empresa se ha seleccionado, el material puede ser remanufacturado/reciclado dependiendo de un análisis costo-beneficio adicional. Algunos materiales pueden colocarse en el flujo inverso en su condición actual y serán transportados al área de reciclaje. Otros productos pueden requerir procesos de remanufactura adicionales antes de continuar con el sistema de Logística Inversa (Dowlatshahi, 2010).

De acuerdo con Ya-Ping (2012), los costos asociados con Logística Inversa son: costo de recolección, costo de prueba y clasificación, costo de desensamble, costo de remanufactura, costo de reproducción de materiales y costo de protección medioambiental; mientras que los beneficios obtenidos en la valorización de residuos son: ingreso de remanufactura, ingreso por reproducción de materiales, beneficios por reciclar energía, así como los beneficios de protección medioambiental.

### Costos de Logística Inversa

**Costo de recolección** ( $C_C$ ). Inician con un trabajo de recolección que ocurren cuando el material a reciclar es recolectado de varias localidades y se coloca en un almacén temporal o un centro de reciclaje. Involucra gastos de transportación y pago por el valor de los residuos.

Se calcula de la siguiente manera:

$$C_C = \sum (C_{1i} \cdot Q_{1i} + C_{2i} \cdot Q_{2i})$$

donde,

$C_{1i}$ . Se refiere a la tarifa unitaria de transporte del artículo  $i$ ;

$Q_{1i}$ . Es la cantidad recolectada del artículo  $i$ ;

$C_{2i}$ . Gastos residuales pagados por adquirir cada unidad del artículo  $i$ ;

$Q_{2i}$ . Se refiere a la cantidad del artículo  $i$  que requiere pago por valor residual.

**Costos de prueba y clasificación** ( $C_T$ ). Procesos que se realizan con la finalidad de promover el adecuado destino de los residuos de acuerdo con sus características. Los materiales recolectados pueden clasificarse en partes que requieren remanufactura, materiales y residuos renovables, cada uno en diferentes grados de clasificación.

Puede ser calculado como sigue:

$$C_T = \sum_i (C_{3i} \cdot n_i + C_{4i} \cdot t_i)$$

donde,

$C_{3i}$ . Es el costo unitario de prueba del artículo  $i$ ;

$n_i$ . Es la cantidad del producto  $i$ ;

$C_{4i}$ . Es el costo unitario de tiempo por clasificar el artículo  $i$ .

$t_i$ . Se refiere al tiempo total requerido para clasificar el artículo  $i$ .

**Costo de desensamble** ( $C_D$ ). Gastos generales de desensamble y ruptura (para aquellos productos que no pueden ser desensamblados).

Puede ser calculado como sigue:

$$C_D = \sum_i \left( \sum_j C_{5ij} \cdot t_{ij} \cdot n_{ij} + C_{6i} \cdot W_{1i} \right)$$

donde,

$C_{5ij}$ . Se refiere al costo unitario de tiempo por desmontar las piezas  $j$  del artículo  $i$ ;

$t_{ij}$ . Es el tiempo requerido para desmontar piezas  $j$  del artículo  $i$ ;

$n_{ij}$ . Es la cantidad de piezas  $j$  en el artículo  $i$  que hay que desmontar;

$C_{6i}$ . Se refiere al costo de ruptura por peso unitario del artículo  $i$ ;

$W_{1i}$ . Es el peso del artículo  $i$  que se requiere romper.

**Costo de partes remanufacturadas ( $C_M$ )**. Costos de partes reparadas, reacondicionadas y costo de reemplazo de piezas.

Se puede calcular de acuerdo con lo siguiente:

$$C_M = \sum_i \sum_j (C_{7ij} \cdot m_{ij} + C_{8ij} \cdot 1_{ij})$$

donde,

$C_{7ij}$ . Se refiere al costo unitario de reparación de partes  $j$  del artículo  $i$ ;

$m_{ij}$ . Es la cantidad de piezas reparables  $j$  en el artículo  $i$ ;

$C_{8ij}$ . Es el costo unitario sustitución de piezas  $j$  del artículo  $i$  con partes nuevas.

$1_{ij}$ . Se refiere a la cantidad de piezas  $j$  del artículo  $i$  que se deben sustituir.

**Costo de reproducción de materiales ( $C_P$ )**. En cada proceso de remanufactura se obtienen materiales tanto reciclables como no reciclables. Los materiales reciclables pueden ser convertidos en materia prima para el proceso productivo a través de la reproducción.

Puede calcularse como sigue:

$$C_P = \sum_i C_{9i} \cdot W_{2i}$$

donde,

$C_{9i}$ . Se refiere al costo de reproducción por unidad de peso de material  $i$ ;

$W_{2i}$ . Es el peso del material reciclable  $i$ .

**Costos de protección medioambiental**. La existencia de residuos no reciclables en el proceso de Logística Inversa se relaciona con restricciones económicas y tecnológicas de las empresas que lo implementan. El destino de estos residuos puede derivarse en dos principales opciones: incineración ( $C_i$ ) o envío a rellenos sanitarios ( $C_L$ ), opciones que presentan costos de disposición.

Puede calcularse de acuerdo con lo siguiente:

$$C_I = C_{10} \cdot W_5$$

$$C_L = \sum_i C_{11i} \cdot W_{6i}$$

donde,

- $C_{10}$ . Se refiere al costo de incineración de unidad de peso del residuo;
- $W_5$ . Es la cantidad de peso de residuos incinerados;
- $C_{11i}$ . Costo de disponer un peso unitario en rellenos sanitarios del residuo  $i$ ;
- $W_{6i}$ . Es el peso de residuos  $i$ .

### Beneficios de Logística Inversa

**Ingreso de partes remanufacturadas ( $R_M$ ).** Incluye tanto los ingresos de las ventas de partes remanufacturadas como los ahorros relacionados con el reúso de las partes en el proceso productivo.

Pueden calcularse de la siguiente manera:

$$R_M = \sum_i (r_{1i} \cdot n_i + r_{2i} \cdot m_i) + \sum_j (r_j \cdot n_j + r_{2j} \cdot m_j) + \sum_i \sum_j W_{ij} (m_{ij} + 1_{ij}) \cdot p_{ij}$$

donde,

- $r_{1i}$ . Se refiere al ingreso de ventas directas del artículo procesado  $i$ ;
- $n_i$ . Es la cantidad del artículo procesado  $i$  de ventas directas;
- $r_{2i}$ . Es el ahorro de costos de compra de artículos remanufacturados  $i$  usados en producción;
- $m_i$ . Es la cantidad de artículos  $i$  como material intermediario usado en producción;
- $r_j$ . Se refiere a los ingresos de ventas directas de las partes procesadas  $j$ .
- $n_j$ . Es la cantidad de partes procesadas  $j$  de ventas directas;
- $r_{2j}$ . Es el ahorro de costos de compra de artículos remanufacturados  $j$  usados en producción;
- $m_j$ . Es la cantidad de artículos  $j$  como material intermediario usado en producción;
- $W_{ij}$ . Se refiere al peso unitario de piezas  $j$  en material  $i$ ;
- $P_{ij}$ . Son los ahorros de sanciones medioambientales debido a las piezas  $j$  usadas por peso unitario de material  $i$ .

**Ingreso por reproducción de materiales ( $R_P$ ).** Los materiales reproducidos pueden ser vendidos directamente para conseguir ingresos y pueden ser empleados igualmente en el proceso productivo para ahorrar costos de materia prima.

Se puede calcular como sigue:

$$R_P = \sum_i (r_{3i} \cdot W_{3i} + r_{4i} \cdot W_{4i})$$

donde,

- $r_{3i}$ . Se refiere al precio de venta unitario del material reproducido  $i$  que se vende directamente;

- $W_{3i}$ . Es el peso de material reproducido i vendido;
- $r_{4i}$ . Son los ahorros en costo de compra de materia prima de material i remanufacturado usado en producción;
- $W_{4i}$ . Es el peso de material reproducido i directamente usado en producción.

**Beneficios de energía reciclada.** Los ingresos obtenidos por incineración ( $R_i$ ) se refieren al ahorro en costos de compra de combustible debido al uso de residuos en lugar de cierto tipo de combustible o al valor económico en relación con la energía producida de la incineración de residuos.

Se pueden obtener de acuerdo con lo siguiente:

$$R_I = V \cdot W_5$$

donde,

- V. Se refiere al valor económico de la energía producida por incineración unitaria de residuos;
- $W_5$ . Es el peso de los residuos incinerados.

**Beneficios de protección medioambiental ( $R_E$ ).** Se vinculan al decremento de residuos y al reciclaje de recursos. Es posible calcularlo de la siguiente manera:

$$R_E = C_{12} \left[ \sum_i \sum_j (m_{ij} + 1_{ij}) \cdot W_{ij} + \sum_i W_{2i} + W_5 \right]$$

donde,

- $C_{12}$ . Se refiere a la sanción de protección medioambiental ahorrada por peso unitario de residuos;
- $m_{ij}$ . Es la cantidad de partes reparables j en el artículo i;
- $1_{ij}$ . Es la cantidad de partes j en el artículo i que requieren ser reemplazadas;
- $W_{ij}$ . Es el peso unitario de la parte j en el artículo i;
- $W_{2i}$ . Es el peso de material reproducible i;
- $W_5$ . Es el peso de residuos incinerados.

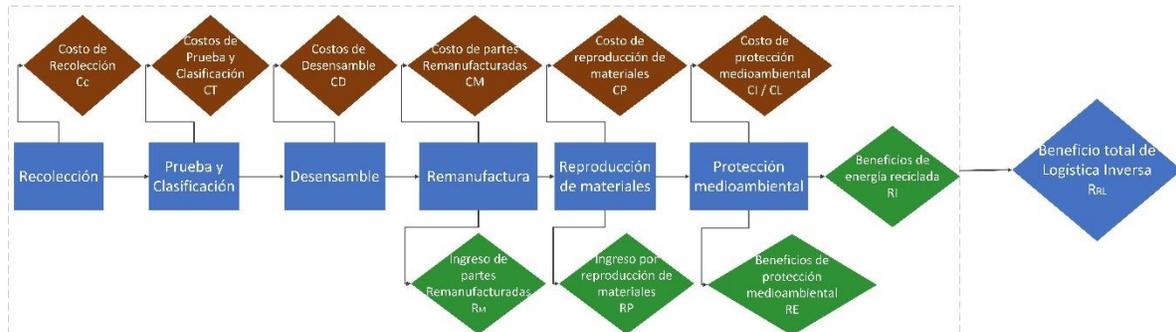
### **Modelo costo-beneficio que aplica al caso de estudio**

El beneficio total de la Logística Inversa ( $R_{RL}$ ) se puede calcular sumando cada uno de los beneficios obtenidos, menos la sumatoria de los costos correspondientes de Logística Inversa de acuerdo con lo siguiente:

$$R_{RL} = (R_M + R_P + R_I + R_E) - (C_C + C_T + C_D + C_M + C_P + C_I + C_L)$$

La Figura 25 muestra el total de los costos y beneficios incluidos en la propuesta de Ya-Ping, cuya diferencia deriva en el beneficio total de la Logística Inversa.

Figura 25. Costos y beneficios de logística inversa



Fuente: Ya-Ping, 2012

En relación con el presente proyecto de investigación, para realizar el análisis costo-beneficio, se tomaron en cuenta únicamente los costos en los que incurre la empresa de servicios de electricidad y los beneficios que obtiene de la valorización.

Delimitación de Costos en los que se incurre

- **Costos de recolección.** La empresa no incurre en costos de recolección, ya que, como parte de la actividad propia de la compañía, el vehículo de servicio regresa a las instalaciones de encierro en cada trabajo, donde se ubica igualmente el almacén temporal, por lo que la adquisición de los residuos no representa costos de transporte ni gastos por su valor, ya que la empresa los obtiene de forma gratuita.
- **Costos de prueba y clasificación.** La empresa de servicios de electricidad no realiza pruebas a los residuos que obtiene, no obstante, si clasifica los residuos en cobre de 1ª y cobre de 2ª, por lo que, los costos de clasificación son considerados dentro del análisis.
- **Costo de desensamble.** La empresa de servicios de electricidad registra costos de ruptura del aislante plástico del cable de cobre, mismos que se consideran en el análisis costo-beneficio.
- **Costo de partes remanufacturadas.** La empresa de servicios de electricidad no incide en costos por reparación, reacondicionamiento o reemplazo.
- **Costo de reproducción de materiales.** No realiza procesos de remanufactura.
- **Costos de protección medioambiental.** El único residuo que se genera a partir de la valorización del cable de cobre es el aislante plástico. Actualmente no se realiza ninguna operación logística de adquisición o transporte para este residuo.

Adicional a los costos delimitados por Ya-Ping (2012), se encuentran costos por almacenaje temporal y costos de transporte al sitio de aprovechamiento de los residuos.

**Costos de envío.** Los costos relacionados con el traslado de los materiales, del almacén temporal al centro de acopio, están incluidos, dentro de lo que

denominamos para efectos del presente trabajo, como costos de envío ( $C_E$ ). Se calculan de la siguiente manera:

$$C_E = CF + CV \cdot D$$

donde,

CF. Se refiere a la suma de los costos fijos relacionados con los sueldos del personal que transporta los residuos, seguros e impuestos.

CV. Es la suma de los costos variables en los que se incurre durante el transporte de los residuos, incluyendo el combustible, mantenimiento y llantas.

D. Es la distancia recorrida en Km. del punto de origen al punto de destino.

Determinación de beneficios que se obtienen

En cuanto a los beneficios, la empresa de servicios de electricidad no realiza procesos de remanufactura ni dispone de residuos en plantas de incineración. En relación con los beneficios de protección medioambiental, de acuerdo con las leyes mexicanas, es el artículo 346 del Código Penal, el que tipifica las sanciones relacionadas con la disposición de residuos de acuerdo con lo siguiente:

“Se le impondrán de 2 a 6 años de prisión y de 1,000 a 5,000 días multa a quien ilícitamente:

II. Descargue, deposite o infiltre aguas residuales, residuos sólidos o industriales no peligrosos, líquidos químicos o bioquímicos (en cualquier lugar);

VI. Genere, maneje o disponga residuos sólidos o industriales no peligrosos conforme a lo previsto en las disposiciones jurídicas aplicables en el Distrito Federal.”<sup>27</sup>

El Código Penal Ciudad de México carece de claridad en relación con el monto de las sanciones por la disposición ilegal de los residuos, asimismo, no desagrega entre los diferentes tipos de residuos de las fuentes domiciliarios, ni por la cantidad correspondiente, por lo que los beneficios de protección medioambiental no se consideran en el análisis de costo-beneficio.

Los ingresos que obtiene la empresa de servicios de electricidad se vinculan al beneficio por reproducción de materiales, el cual incluye la retribución obtenida a partir de la venta directa de los residuos, en este caso, al centro de acopio, sin tomar en cuenta el cálculo del ahorro del costo de la compra de materia prima, ya que no emplea residuos dentro de su proceso productivo.

---

<sup>27</sup> Código Penal Ciudad de México, “Artículo 346”, Disponible en: [https://leyes-mx.com/codigo\\_penal\\_ciudad\\_de\\_mexico/346.htm](https://leyes-mx.com/codigo_penal_ciudad_de_mexico/346.htm), fecha de consulta: 24 de octubre de 2021.

## **2.6 Estrategia de investigación**

El análisis costo-beneficio se realizó a partir del estudio de los costos de clasificación, costos de desensamble y costos de envío, frente a los beneficios de reproducción de materiales obtenidos por la venta de los residuos en el centro de acopio.

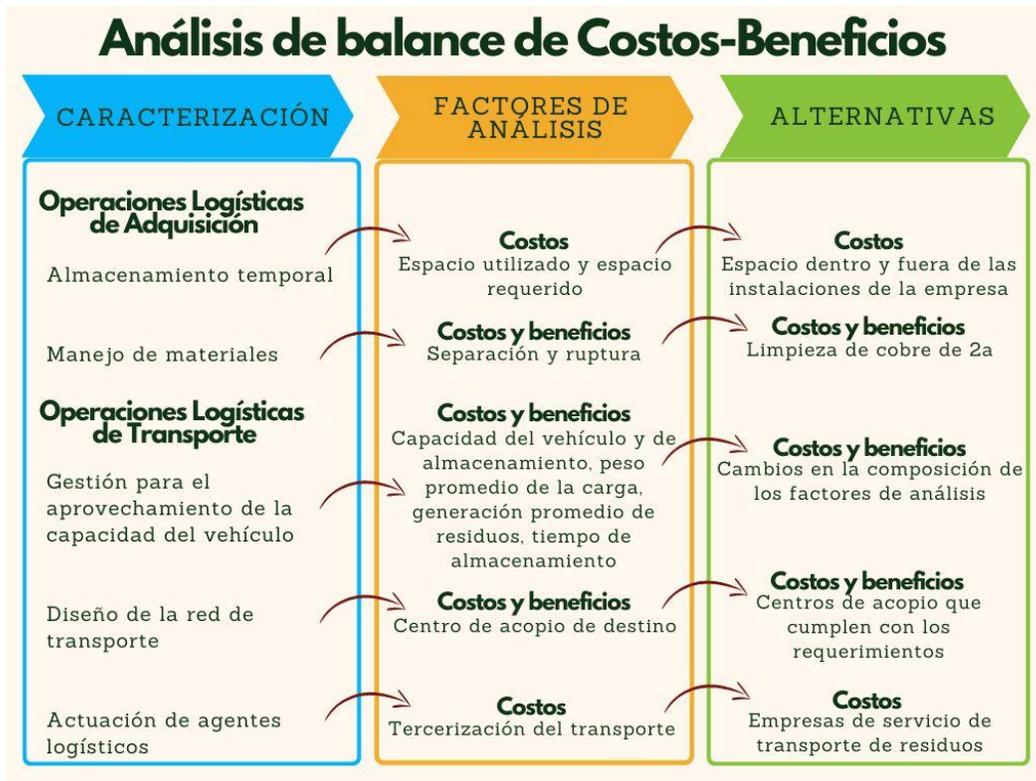
En primera instancia se caracterizaron las Operaciones Logísticas de Adquisición y Transporte que realiza la empresa de servicios de electricidad, con la finalidad de detectar las áreas de oportunidad logística que se presentan en la valorización de los residuos, a partir de las cuales, se plantearon las alternativas en búsqueda de impulsar mejoras que incentiven una eficiencia en términos logísticos en el proceso de valorización de los materiales.

De manera paralela a la caracterización, se registraron los costos en los que incurre actualmente la empresa de servicios de electricidad, así como los beneficios que obtiene de la venta de los residuos, con la finalidad de generar el contexto actual de la relación costo-beneficio que presenta la compañía.

Las alternativas propuestas en cada uno de los factores de análisis dieron pauta a la formación de escenarios comparativos frente a la situación actual de la empresa, identificando los cambios en los costos y beneficios al optar por una u otra alternativa en cada factor de análisis, teniendo como función objetivo, la maximización de los beneficios y la minimización de los costos en la búsqueda por impulsar eficiencias logísticas en el proceso de valorización de los residuos.

La Figura 26 muestra los cuatro principales bloques de la estrategia de investigación: la caracterización de las OLA y OLT, la identificación de los factores de análisis, el establecimiento de alternativas y el análisis de balance de costo-beneficio.

Figura 26. Estrategia de investigación



Fuente: Elaboración propia.

## Recolección de datos

La recolección de datos se realizó en función de las operaciones logísticas analizadas, las alternativas propuestas, así como los costos y beneficios implicados tanto en la situación actual, como en las propuestas correspondientes.

Las OLA analizadas son: Almacenamiento temporal y manejo de materiales, a continuación, se especifican los datos recolectados:

1. Almacenamiento temporal.
  - 1.1. Caracterización del espacio utilizado actualmente para el almacenamiento del cable con y sin recubrimiento.
    - 1.1.1. Identificación de costos de almacenamiento.
  - 1.2. Definición de requerimientos de la empresa de servicios de electricidad para el almacenamiento de los residuos.
  - 1.3. Localización de espacios dentro y fuera de las instalaciones de la empresa que puedan ser adaptados para el almacenamiento temporal de los residuos y que cumplan con los requerimientos de la compañía.
    - 1.3.1. Identificación de costos de renta de espacios y adaptación de estos para almacenamiento temporal, dentro y fuera de la empresa.
2. Manejo de materiales.
  - 2.1. Caracterización del proceso de manejo de materiales.

- 2.1.1. Identificación de costos relacionados con la separación de los residuos y la ruptura del aislante de plástico.
- 2.2. Delimitación de alternativas de procesos de limpieza del cobre.
  - 2.2.1. Definición de costos unitarios de las diferentes alternativas.
  - 2.2.2. Estimación de los beneficios financieros unitarios.

Las OLT por analizar son: Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo, diseño de la red de transporte, actuación de agentes logísticos y balance de costos, a continuación, se especifican los datos recolectados:

- 3. Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo.
  - 3.1. Capacidad de carga del vehículo.
  - 3.2. Peso promedio de residuos transportados por envío.
  - 3.3. Cantidad promedio de residuos generados al mes.
  - 3.4. Tiempo promedio de almacenamiento de los residuos transportados en cada envío.
  - 3.5. Capacidad de almacenamiento temporal.
  - 3.6. Identificación de costos de envío fijos (sueldos, seguros e impuestos) y variables (combustible, mantenimiento, llantas).
  - 3.7. Definición de beneficios obtenidos de la reproducción de materiales con las características actuales.
  - 3.8. Delimitación de alternativas
    - 3.8.1. Identificación de costos relacionados con las alternativas propuestas, determinando cambios en la composición del tiempo de almacenamiento y peso de los residuos transportados, en relación con el promedio de residuos generado al mes, la capacidad de almacenamiento y la capacidad del vehículo.
    - 3.8.2. Identificación del cambio en los beneficios para los escenarios propuestos.
- 4. Diseño de la red de transporte.
  - 4.1. Caracterización de la red actual de transporte.
  - 4.2. Alternativas de centros de acopio.
    - 4.2.1. Ubicación de centros de acopio registrados en la SEMARTNAT en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).
    - 4.2.2. Distancia lineal entre cada centro de acopio y el almacén temporal actual.
    - 4.2.3. Cumplimiento de requerimientos de las alternativas.
    - 4.2.4. Identificación de las alternativas que cumplen con los requerimientos de la empresa de servicios de electricidad.
      - 4.2.4.1. Permiso RAMIR.
      - 4.2.4.2. Certificación de las básculas empleadas para el peso de los residuos.
      - 4.2.4.3. Términos y condiciones con respecto al pago de los residuos.
      - 4.2.4.4. Precio de compra de los residuos de cobre de 1<sup>a</sup> y de 2<sup>a</sup>.
      - 4.2.4.5. Costos de las alternativas.
      - 4.2.4.6. Beneficios de las alternativas.
- 5. Actuación de agentes logísticos.

- 5.1. Identificación de tres empresas de servicio de transporte de residuos, con operación en la ZMVM, que manejen unidades de 1.5 a 3.5 ton.
- 5.2. Costo de envío de los residuos de cada alternativa, considerando como punto de origen el almacén temporal y como puntos de destino, las diferentes propuestas de la alternativa de envío a centro de acopio del diseño de la red de transporte.

### **Fuente de los datos y periodo de recolección**

Los datos necesarios para el análisis costo-beneficio se clasifican en tres tipos: internos, aquellos que se relacionan directamente con la operación de la empresa de servicios de electricidad y se recaban a partir de videoconferencia o llamada telefónica con el director de la empresa o visita de campo al almacén temporal para observar y registrar los diferentes procesos logísticos; externos, aquellos que no están relacionados con la empresa caso de estudio y se recaban a partir de fuentes electrónicas, llamadas telefónicas o visitas de campo.

La recolección de datos relacionados con el almacenamiento temporal y el manejo de materiales implica principalmente datos de la empresa de servicios de electricidad, por lo que el medio fundamental fue la visita de campo y los instrumentos utilizados fueron la observación sistémica<sup>28</sup> y el registro de actividades a partir de archivos fotográficos. Se llevaron a cabo dos visitas de campo, una el 20 de marzo de 2021 y otra el 17 de septiembre de 2021, donde fue posible recabar información relacionada con la generación de residuos, así como con los procesos de adquisición, valorización y transporte. De igual forma se obtuvieron datos externos correspondientes a las alternativas en sitios web y llamadas telefónicas, durante el periodo del 21 de febrero al 8 de abril de 2022.

La gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo involucra datos internos que se recaban mediante visitas de campo y llamadas telefónicas, no obstante, igualmente implica análisis de los datos para el desarrollo de alternativas en la composición del proceso actual de la empresa de servicios de electricidad, el periodo de recolección fue del 21 de marzo al 13 de mayo de 2022.

El diseño de la red de transporte implica datos públicos de las alternativas de centro de acopio, localizados principalmente en sitios web, no obstante, igualmente se recabaron datos a partir de llamadas telefónicas, correos electrónicos y visitas de campo. Asimismo, se realizan análisis geoespaciales basados en vectores mediante el Software QGIS versión Desktop 3.16.3 para definir rutas de transporte e identificar la proximidad de los centros de acopio con respecto al almacén temporal de la empresa de servicios de electricidad. El periodo de recolección y análisis fue del 14 de mayo al 26 de agosto de 2022.

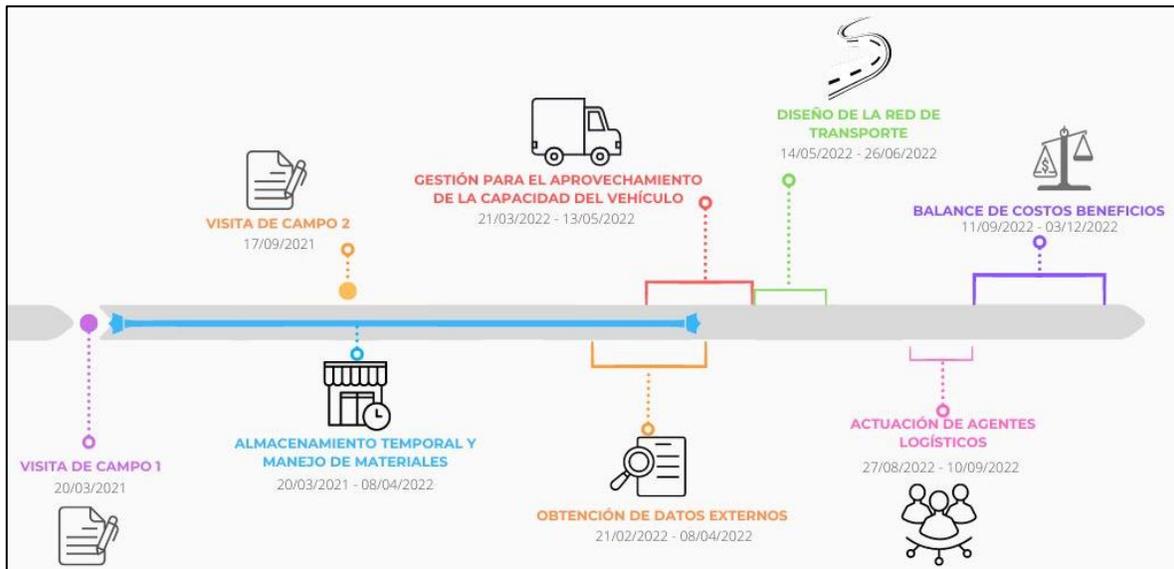
La actuación de agentes logísticos contempla datos externos que fueron recabados a partir de medios electrónicos y llamadas telefónicas del 27 de agosto al 10 de septiembre de 2022.

---

<sup>28</sup> Véase: UAM, “La observación sistémica”, disponible en: [OBSERVACIÓN \(unid.edu.mx\)](https://observacion.unid.edu.mx).

Una vez que se realizó la recolección de los datos, se procede a comparar la situación actual de costo-beneficio en cada OLA y OLT analizada, con respecto al balance de costo-beneficio que se obtiene de cada una de las propuestas, verificando el porcentaje de cambio en el balance de costo-beneficio entre la situación actual y la alternativa correspondiente. La Figura 27 muestra los periodos de recolección de los datos en cada etapa de la estrategia de investigación.

Figura 27. Línea del tiempo de recolección de los datos



Fuente: Elaboración propia.

## Estudio de costo-beneficio

Mediante el estudio de las OLA y OLT, se obtienen alternativas de los procesos logísticos actuales en relación con el almacenamiento temporal, manejo de materiales, gestión para el aprovechamiento de la capacidad del transporte, diseño de la red de transporte y actuación de agentes logísticos; se registra el balance de costo-beneficio de la situación actual y el de la propuesta analizada.

Una vez que se cuenta con los costos y beneficios de cada propuesta, se establecen las relaciones costo-beneficio de la situación actual y de los escenarios que se crean a partir de las alternativas en cada OLA y OLT analizadas, identificando aquellos escenarios en los que se registra una relación favorable para los beneficios obtenidos.

El efecto de la inflación, el incremento salarial y el aumento en el valor de los residuos no se considera en el análisis costo-beneficio, ya que se identificó una alta variabilidad en el costo del cobre durante el periodo de recolección de los datos de marzo 2021 a diciembre de 2022, desde un 15 hasta un 35% anual, contrario a la variación en la inflación anual del mismo periodo con un promedio de 7.07% (INEGI,2023), o del incremento salarial de un 5% anual. La tasa de crecimiento en el valor del cobre es significativamente mayor a la inflación o al incremento salarial, por lo que su integración no implica un efecto adverso al análisis desarrollado en el presente proyecto de investigación.

## **Comunicación de resultados**

Se analizó el cambio en la relación costo-beneficio de cada alternativa propuesta y se hizo énfasis en aquellas que involucraron un mayor beneficio con respecto a los costos implicados.

Se describieron aquellas alternativas que representaron relaciones costo-beneficio inferiores con respecto a la situación actual, con la finalidad de que la empresa de servicios de electricidad tenga conocimiento de la estimación realizada en el proceso de valorización de los residuos.

Se subrayaron las alternativas con una relación costo-beneficio mayor a la de la situación actual, las cuales podrían implicar mejoras logísticas dentro del proceso de valorización de residuos para la empresa de servicios de electricidad.

## CAPÍTULO 3. Análisis Balance Costo-Beneficio

### 3.1 Caracterización de Cadena de Suministro Inversa de la empresa caso de estudio

#### 3.1.1 Naturaleza

La empresa de servicios de electricidad genera múltiples residuos como parte de su actividad económica y procesos operativos, el 41.7% corresponde a residuos metálicos ferrosos y no ferrosos, materiales que actualmente valoriza la compañía y delimitan la naturaleza de la CSI.

#### Metales ferrosos

Dentro de los metales ferrosos se encuentra el hierro y sus aleaciones. La empresa de servicios de electricidad emplea diversos productos que contienen hierro, como el caso de partes de ensamble que emplea para unir piezas, estructuras y materiales como rondanas, tuercas, tornillos, clavos, conectores, abrazaderas y reductores, empleados en los servicios que realiza en casas, comercios e industrias; además de tubos de acero galvanizado, como protección para los cables en instalaciones eléctricas.

Figura 28. Ejemplo de piezas de ensamble



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

Los residuos de metales ferrosos se generan a partir de la pérdida de funcionalidad con respecto a su uso y de la realización de cortes de acuerdo a las especificaciones de los servicios que se llevan a cabo, por lo que la fuente de generación se ubica en cada una de las instalaciones de los clientes de la empresa de servicios de electricidad, sin embargo, su conocimiento no es parte del objeto del presente proyecto, ya que en cada servicio, el vehículo debe regresar a las instalaciones de la compañía, que son a su vez, la ubicación del almacén temporal, por lo que la recolección y transporte al centro de acopio de los residuos, no representa un costo adicional a las operaciones inherentes de la cadena directa, por lo tanto, no se registra una posibilidad de eficiencia logística en las OLA de generación, adquisición ni transporte.

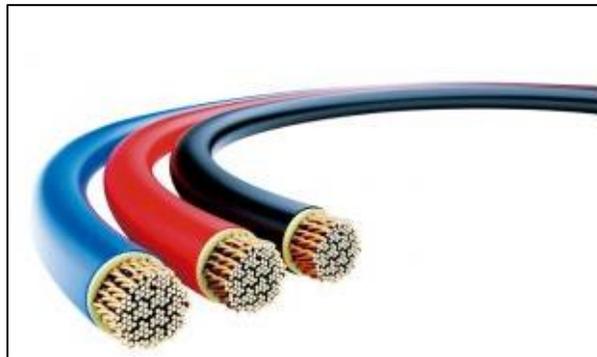
Los metales ferrosos presentan una baja densidad de valor en el mercado del reciclaje, al encontrarse en alrededor de \$3 pesos por cada Kg., sin diferenciación con respecto a su estado o calidad. La empresa de servicios de electricidad acopia

los metales ferrosos en el almacén temporal entre una y dos semanas. Al final de dicho periodo agentes informales recolectan la cantidad acumulada, directamente en el almacén temporal, sin la posibilidad de poder identificar su alcance. Proceso que otorga su carácter de modelo pull, al ser los agentes informales quienes incentivan la recolección y valorización de los residuos (atraídos desde el destino).

### **Metales no ferrosos**

Los residuos no ferrosos son aquellos que no contienen hierro, en este caso, la empresa de servicios de electricidad genera residuos de cobre a partir de cortes que realiza de acuerdo con las necesidades y requerimientos de los proyectos en instalaciones domésticas, comerciales e industriales, por lo que la fuente de generación se ubica en cada una de las instalaciones de los clientes, sin embargo, su localización no es objeto del presente caso de estudio, ya que, al igual que con los metales ferrosos, su recolección y transporte al centro de acopio no representa una actividad adicional a la cadena directa de la compañía, por lo que no se registra una posibilidad de eficiencia en las OLA de generación, adquisición ni transporte.

Figura 29. Cable de cobre



Fuente: Hernández, Hernán (2021).

Los residuos son acopiados en el almacén temporal de la empresa de servicios de electricidad y reciben procesos de ruptura y clasificación en cobre de 1<sup>a</sup> y cobre de 2<sup>a</sup>, el primero es aquel que no muestra deterioro y representa el residuo de mayor valor, 1 Kg. tiene un valor de entre \$100 y \$160 en el mercado del reciclaje; el segundo contiene rastros de polvo, suciedad y/u óxido, su valor en el mercado del reciclaje es entre \$80 y \$147.

La alta densidad de valor del cobre en el mercado del reciclaje, incentiva su valorización, por lo que, a partir de su acopio en el almacén temporal de la empresa de servicios de electricidad, se clasifica, se retira el aislante plástico y se traslada a un centro de acopio ubicado en Tultitlán Estado de México, para su re inserción en cadenas productivas con alcance a nivel nacional y global, gracias al aprovechamiento de economías de escala, proceso que delimita el carácter de modelo push en la valorización del cobre, es decir, que la empresa es quien promueve la valorización.

La Tabla 3 muestra las principales características de la naturaleza de los residuos generados por la empresa de servicios de electricidad, relacionadas con el tipo de residuo, su clasificación, la densidad de valor, el origen y destino de los materiales, el alcance geográfico desde la fuente de generación hasta el destino de re inserción en cadenas productivas, así como el modelo relacionado con el eslabón que incentiva la valorización de los residuos.

Tabla 3. Características de los residuos

Tipo	Clasificación	Densidad de Valor	Origen-Destino		Alcance	Modelo
Metales no ferrosos	Cobre 1 <sup>a</sup>	1Kg-\$100.00-\$160.00	Doméstico Comercial Servicios Industrial	Industrial	Nacional-Global	Push
Metales no ferrosos	Cobre 2 <sup>a</sup>	1Kg-\$80.00-\$147.00	Doméstico Comercial Servicios Industrial	Industrial	Nacional-Global	Push
Metales ferrosos	Tubos galvanizados	1Kg-\$3.00	Doméstico Comercial Servicios Industrial	Industrial	No disponible	Pull
Metales ferrosos	Partes de ensamble	1Kg-\$3.00	Doméstico Comercial Servicios Industrial	Industrial	No disponible	Pull

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

Una vez identificada la naturaleza de los residuos, es necesario caracterizar los procesos en las cuatro principales estructuras de la CSI: generación, adquisición, valorización y reintegración, mismas que concentran el proceso de valorización de Logística Inversa en las que incurren los materiales y productos, diferenciado por el tipo de producto y las condiciones económicas y tecnológicas de cada eslabón.

### 3.1.2 Procesos

Los procesos en la caracterización de CSI agrupan las actividades propias de la valorización de los residuos, desde la fuente de generación hasta su reinserción en cadenas productivas, en cuatro grandes procesos: generación, adquisición, valorización y reintegración.

#### Generación

La empresa de servicios de electricidad adquiere materiales nuevos para poder llevar a cabo la realización de sus proyectos. En relación con los metales ferrosos, la compra de piezas de ensamble se realiza por volumen y tamaño de acuerdo con las especificaciones requeridas por los servicios proyectados. En cuanto a los tubos galvanizados, la venta de estos se realiza únicamente a partir de piezas de 3 metros de largo, con diferentes dimensiones de grosor, dependiendo de las especificaciones de los servicios en los que se utilicen.

La Figura 30 muestra las características de un tubo galvanizado convencional que la empresa de servicios de electricidad emplea en instalaciones eléctricas domésticas: largo 3m., diámetro 41mm., medida 1 ¼"; características requeridas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para garantizar que el cable empleado en la instalación está protegido de las posibles afectaciones ambientales, como la corrosión y la abrasión.

Figura 30. Tubo de acero galvanizado de 3 m.



Fuente: Truper, 2021.

En cuanto al cobre, la empresa de servicios de electricidad adquiere rollos desde 100 hasta 500 metros, dependiendo de las necesidades de los trabajos proyectados, cuyo calibre puede variar desde el 00, que es el cable más grueso, empleado regularmente en instalaciones industriales, hasta el calibre 16, el cable más delgado que utiliza la compañía, fundamentalmente ocupado en instalaciones domésticas. La Figura 31 muestra un ejemplo de una caja de 100m. de cable de cobre.

Figura 31. Rollo de cable de cobre de 100 m.



Fuente: Mercado libre (2021).

Tanto los materiales ferrosos como los no ferrosos son llevados por la empresa de servicios de electricidad a las diferentes ubicaciones de sus clientes, localizados principalmente en la Zona Metropolitana del Valle de México. De acuerdo con las especificaciones y necesidades de cada uno de los proyectos, la compañía debe realizar cortes, tanto a los tubos galvanizados, como a los rollos de cable de cobre, lo cual resulta en retazos de materiales, cuya longitud reducida dificulta su utilización en futuros proyectos, principalmente los residuos de tubos galvanizados de menos de 2 m. y cables de cobre de menos de 10 m. de longitud.

Figura 32. Residuos de cable de cobre y tubos galvanizados



Fuente: Empresa de servicios de electricidad, 2021.

Por otro lado, las piezas de ensamble pueden incurrir en diferentes circunstancias que derivan en la generación de residuos, incluyendo desgaste por el uso de estas, oxidación, fractura, quiebre, o incluso que una alta especificación dificulte su uso en nuevos proyectos.

Las actividades comerciales que la empresa de servicios de electricidad realiza, incluyendo mantenimiento, reparación e instalación, resultan en la generación de residuos ferrosos y no ferrosos. Cada proyecto presenta características y requerimientos diferentes, por lo que, algunos proyectos generan una mayor cantidad de residuos; como el caso de la renovación completa de una instalación eléctrica, donde los cables que han permanecido durante un periodo determinado

en una casa habitación, comercio o industria, son reemplazados por nuevos. La cantidad de residuos generados estará en función del tamaño de la instalación, la calidad del cable reemplazado y su longitud; mientras que existen servicios que no derivan en la generación de residuos, como es el caso de la instalación de paneles solares o la instalación eléctrica en una construcción nueva.

#### Cantidad generada de residuos

Se realizaron dos visitas de campo en las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad, una el 20 de marzo de 2021 y la segunda el 17 de septiembre de 2021, donde se recabó una serie de datos relacionados con la generación, adquisición, valorización y transporte de los residuos al centro de acopio.

En términos de generación, se registraron dos principales periodos, el primero de septiembre de 2020 a marzo de 2021 y el segundo de marzo de 2021 a septiembre de 2021, configurando un periodo total de un año de generación y acopio de residuos por parte de la empresa de servicios de electricidad, registrados en el presente proyecto.

La empresa generó 194.17 Kg. y 126 Kg. en el primer y segundo periodo, respectivamente, por lo que anualmente la empresa genera un total de 320.17 Kg. de residuos. En promedio, la empresa de servicios de electricidad genera diariamente 0.88 Kg. de cable con recubrimiento, resultado de sus actividades económicas a nivel doméstico, comercial e industrial.

En el caso de los materiales ferrosos, únicamente se tiene un estimado de la generación, ya que no son acumulados por la empresa por más de dos semanas, periodo en el cual se generan alrededor de 3 Kg. de residuos, por lo que, anualmente, la empresa genera alrededor de 72 Kg. de residuos ferrosos, incluyendo tubos galvanizados y piezas de ensamble.

Además de la generación de los residuos, la caracterización de la Cadena de Suministro Inversa involucra los procesos de adquisición, aquellos relacionados con la recolección y la consolidación de los residuos en el almacén temporal, ubicado en la Alcaldía Xochimilco, en la Ciudad de México.

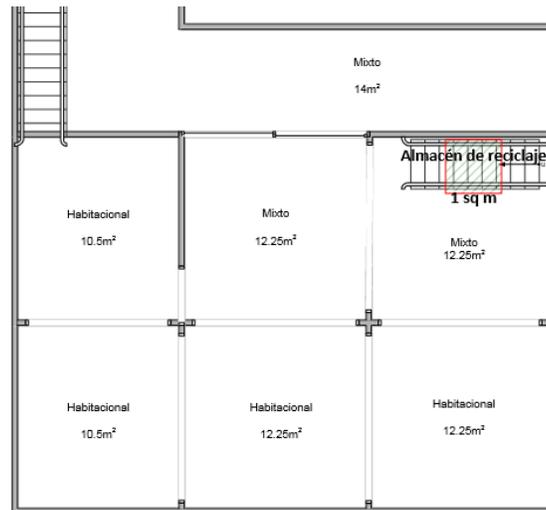
#### **Adquisición**

Una vez que la empresa de servicios de electricidad finaliza cada uno de sus servicios en las instalaciones de sus clientes, recolecta los residuos generados y los carga en el vehículo de la compañía, mismo que regresa a las instalaciones de la empresa una vez finalizada la jornada laboral o el proyecto correspondiente.

Una vez terminada la jornada laboral o el proyecto correspondiente, el equipo operativo debe regresar a las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad como parte del proceso operativo de la cadena directa, por lo que el acopio de los residuos de la fuente de generación al almacén temporal no representa actividades o costos adicionales a los incurridos por la actividad económica principal.

Una vez que la unidad se encuentra en las instalaciones de encierro de la empresa de servicios de electricidad, el personal operativo descarga los residuos recolectados y los coloca en el almacén de reciclaje de 1m<sup>3</sup>, con capacidad para almacenar alrededor de 100 Kg. de cable con recubrimiento. En la Figura 33 se muestra el espacio en las instalaciones destinado para el almacén de los residuos.

Figura 33. Almacén de reciclaje



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

En caso de que el almacén alcance su máxima capacidad, el personal de la compañía procede a realizar actividades de valorización, incluyendo su separación, ruptura, clasificación, empaquetado, pesado y etiquetado de los residuos, actividades que no necesariamente se realizan de manera continua, ya que pueden registrarse periodos entre la clasificación y el empaquetado de los residuos.

Con la ruptura de los residuos se libera el espacio del almacén para dar posibilidad nuevamente al acopio de cable de cobre con recubrimiento, mismo que es continuamente valorizado, debido al reducido espacio que presenta el almacén de reciclaje y a la constante generación de residuos resultante de las actividades económicas que realiza la empresa de servicios de electricidad. Mientras que el cable sin recubrimiento que ha sido valorizado se resguarda en espacios disponibles de las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad, que no son propiamente destinados para tal efecto.

Figura 34. Almacén de reciclaje de cable de cobre con recubrimiento



Fuente: Empresa de servicios de electricidad, 2021.

Una vez valorizado, el cable sin recubrimiento se resguarda en cajas de plástico de 35x35x70 cm., mismas que se colocan en lugares disponibles en las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad, sin un espacio destinado propiamente para resguardar la calidad ni seguridad del cobre ante los efectos del polvo y la posibilidad de robo que pudiese presentarse por parte del personal que labora dentro o fuera de la compañía, tomando en cuenta a los proveedores que ingresan a las instalaciones de la empresa.

Figura 35. Almacenaje de cable sin recubrimiento en caja de plástico

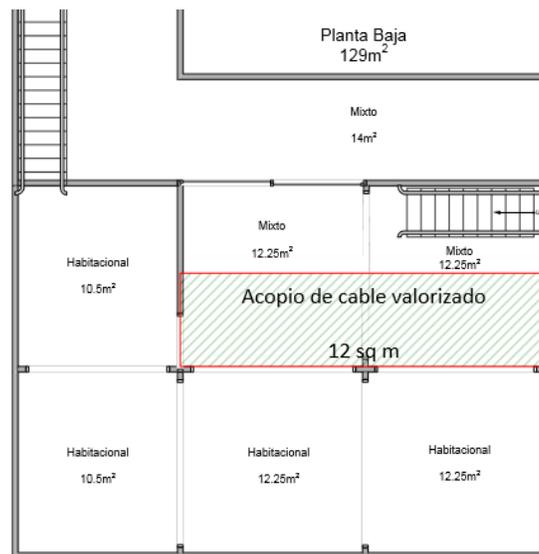


Fuente: Empresa de servicios de electricidad, 2021

La capacidad de almacenamiento de cable sin recubrimiento no está delimitada, ya que se ocupan espacios disponibles de las instalaciones de la empresa. Si bien, únicamente se tienen cinco cajas de plástico de 35x35x70 cm, al momento de que su capacidad ha sido rebasada, la empresa compra costales de polipropileno tejido, donde empaqueta los residuos de cobre sin recubrimiento y los coloca en espacios disponibles en las instalaciones. Conforme se van acumulando costales de residuos, se va reduciendo el espacio que la empresa tiene para realizar sus actividades económicas.

El espacio con mayor disponibilidad con el que cuenta la compañía, que no se encuentra destinado para almacenamiento, pero es utilizado para tal efecto, tiene dimensiones de 7x3.5 m., es decir, una capacidad de 24.5m<sup>2</sup>, no obstante, corresponde a un pasillo de uso mixto dentro de las instalaciones, mismo que no puede ser utilizado al 100%, por lo que se podría mencionar que la capacidad estimada de almacenamiento para cable sin recubrimiento es de 12.25m<sup>2</sup>, reduciendo el pasillo hasta en un 50%. En la Figura 36 se muestra el área de uso mixto empleada para el acopio de cable desnudo.

Figura 36. Espacio para el acopio de cable valorizado



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

El tiempo de consolidación de los residuos no se encuentra delimitado, hasta el momento, la empresa de servicios de electricidad ha tomado la decisión de acopiar los residuos hasta alcanzar un peso de aproximadamente 500 Kg. de cable sin recubrimiento, tomando en cuenta que el periodo de tiempo varía ampliamente en función de los proyectos realizados en el mismo.

Además de la recolección y acopio, la empresa realiza diferentes actividades para agregar valor a los residuos, incluyendo la ruptura del aislante plástico, con la finalidad de obtener cable desnudo que posteriormente es transportado a un centro de acopio para venta y reciclaje.

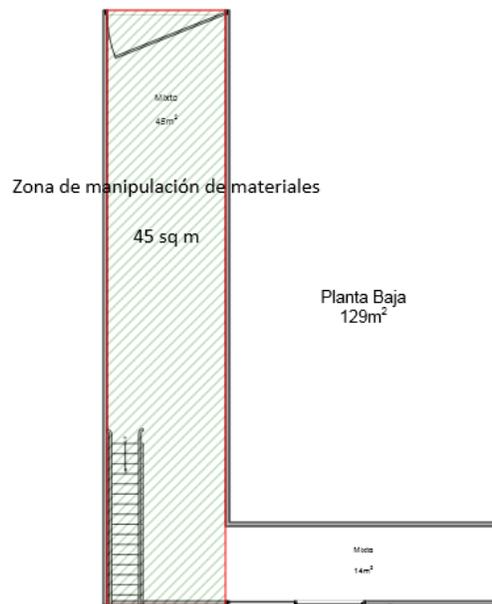
### Valorización

Los procesos físicos que realiza la empresa para agregar valor a los residuos se encuentran relacionados con la separación por calibre de los cables, la ruptura del aislante de plástico, la clasificación del cable sin recubrimiento en cobre de 1<sup>a</sup> y cobre de 2<sup>a</sup>, el empaquetado del cobre en costales, así como el pesado y etiquetado de los mismos para mantener un registro del peso y poder tener un parámetro de comparación y validación al momento de su venta en el centro de acopio.

### Traslado del almacén de reciclaje a la zona de manipulación

La empresa de servicios de electricidad promueve la valorización de los residuos cuando se registran tiempos libres, es decir, cuando no se tienen proyectos pendientes o planes de trabajo. La jornada para agregar valor a los residuos inicia con el traslado del cable con recubrimiento del almacén de reciclaje a la zona de manipulación, un espacio de 45 m<sup>2</sup> dentro de las instalaciones de la empresa donde se realizan las actividades de valorización de los residuos. En la Figura 37 se muestra el espacio destinado para la manipulación de los materiales.

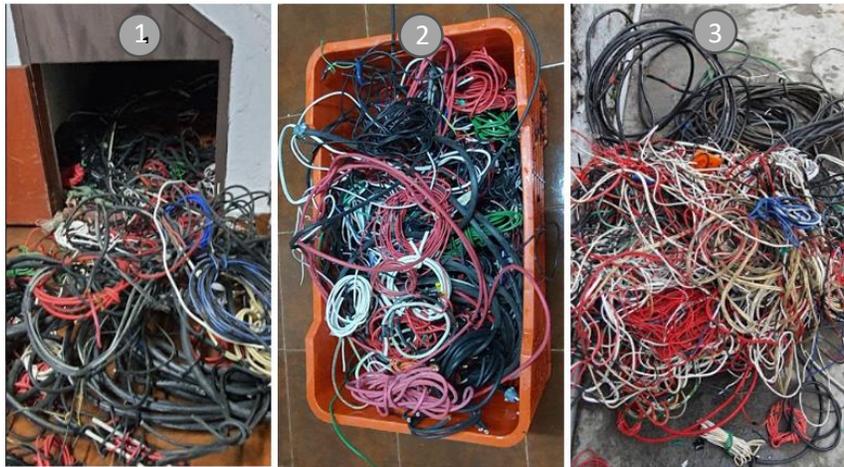
Figura 37. Zona de manipulación de materiales



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

La Figura 38 muestra las tres actividades que la empresa realiza para el traslado de materiales: sacar los residuos del almacén de reciclaje, cargarlos en una caja de plástico de 35x35x70 cm., y acarrearlos alrededor de 14m. para depositarlos en la zona de manipulación de materiales, proceso que se realiza en cuatro ocasiones para trasladar la totalidad de los residuos almacenados.

Figura 38. Proceso de traslado de materiales



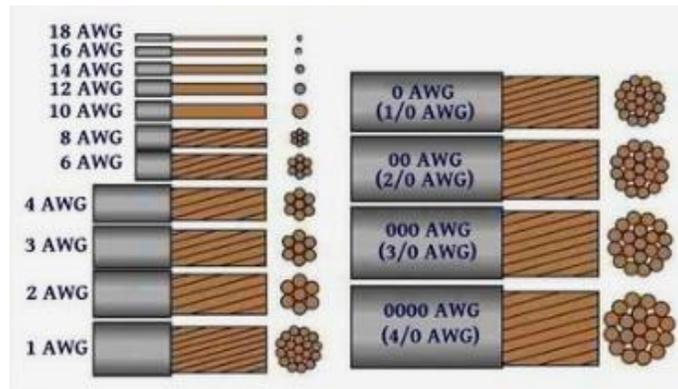
Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

### Separación

Una vez que la totalidad del cable con recubrimiento se encuentra en la zona de manipulación, el personal de la compañía procede a realizar su separación en tres grandes grupos: en una sección se separa el cable más grueso correspondiente al calibre 00, 0 y 2, utilizado regularmente en instalaciones industriales que involucran una mayor intensidad de corriente eléctrica, en una segunda sección se coloca el cable calibre 8, el cual se emplea en instalaciones de aire acondicionado, estufas eléctricas, acometidas y refrigeradores, por mencionar algunos ejemplos, mientras que en un tercer grupo se coloca el cable más delgado, es decir, calibre 10, 12, 14 y 16, normalmente empleado en instalaciones domésticas.

La separación del cable responde a que cada conjunto de calibres presenta características diferentes relacionadas con el proceso que requieren para su valorización; por un lado, el grupo de cables más grueso (AGW 00, 0 y 2) es muy poco maleable, por lo que no tiende a enredarse y su ruptura se realiza a partir de una máquina manual para pelar cables; en segunda instancia, el cable calibre 8 tiene una mayor maleabilidad, por lo que requiere ser estirado para promover la ruptura del aislante plástico, que igualmente se realiza a través de la máquina manual; finalmente, el cable más delgado (10, 12, 14 y 16) es el más flexible, por lo que es muy susceptible de enredarse y requiere una mayor cantidad de tiempo para ser estirado, además de que no es posible su ruptura a partir de la máquina manual, debido a su diámetro reducido.

Figura 39. Comparativa en diámetro de calibres AWG

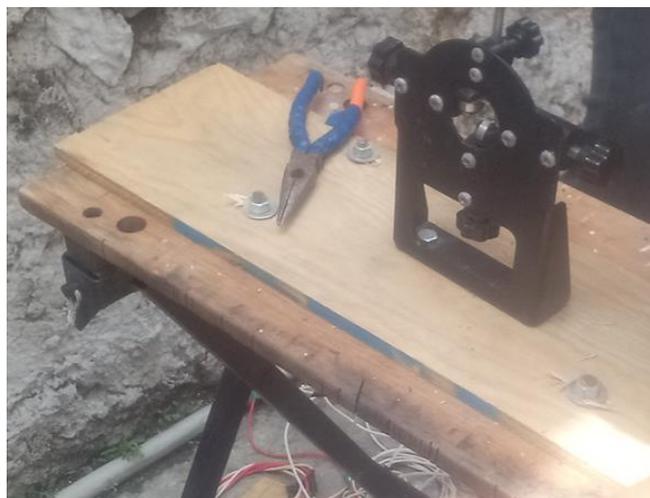


Fuente: Electrotec (2021).

### Montaje de la máquina desforadora de cable

La empresa de servicios de electricidad cuenta con una máquina manual para pelar cable de cobre, de calibres iguales o superiores en grosor al AWG 8. Se trata de un equipo de uso doméstico, principalmente elaborado de acero, con un tamaño de 15.5x14.8x7 cm. y un peso de 1.5 Kg. Es una máquina portátil, por lo que es necesario su montaje en una estructura antes de comenzar a pelar el cable. La compañía emplea una base de madera, tornillos, tuercas, rondanas y herramientas para tal efecto. El proceso se realiza cada vez que se valoriza el cable, a menos que la máquina no haya sido desmontada entre ambos periodos de tiempo. En la Figura 40 se observa el equipo para pelar el cable montado en una base de madera.

Figura 40. Máquina desforadora de cable

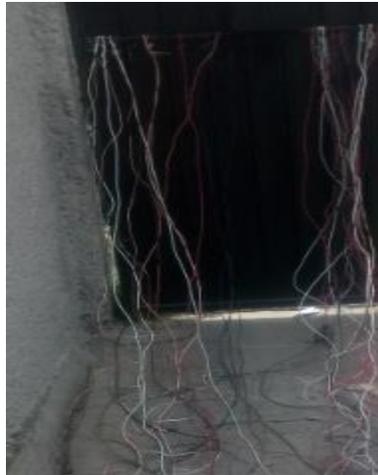


Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

## Estiramiento

El proceso de estiramiento se realiza en los cables de calibre igual e inferior en grosor al AWG 8, ya que son los que presentan una mayor maleabilidad y se enredan con facilidad en el almacén de reciclaje. La actividad radica en amarrar un extremo de los cables a una estructura y desenredarlos manualmente, es uno de los procesos que conlleva más tiempo, ya que se realiza a la par de la ruptura del aislante de plástico a lo largo de la jornada.

Figura 41. Estiramiento de cable con recubrimiento



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

## Ruptura

El siguiente proceso una vez que se tiene lista la máquina desferradora para los cables calibre 8 y superiores en grosor, es la ruptura del aislante plástico, ya que, debido a su composición, no es posible su desensamble. La actividad consiste en, primeramente, ajustar las tres perillas del equipo de acuerdo con el calibre del cable, con la finalidad de que el mismo pase por los rodillos de acuerdo con el diámetro correspondiente. Una vez ajustada la máquina, el proceso debe realizarse por al menos dos trabajadores, ya que uno debe empujar el cable hacia el orificio donde se encuentra la navaja, mientras el segundo jala el cable al mismo tiempo, dando paso a la abertura del aislante. Al momento de que la totalidad de la longitud del cable ha pasado por la máquina, únicamente se retira manualmente el forro.

Figura 42. Pelado de cable con máquina desforadora



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

En el caso de los cables de calibre AWG 10, 12, 14 y 16, el proceso se realiza totalmente manual, mediante el uso de una charrasca, navaja de acero inoxidable rectificada, con mango de madera, para uso de electricista. Al igual que el estiramiento del cable, es un proceso que se realiza durante la jornada completa, ya que más del 30% de los residuos debe valorizarse a través de este medio.

#### Almacenaje

Conforme se va rompiendo el aislante de plástico, el cable desnudo es resguardado en cajas de plástico de 35x35x70 cm., mismas que son almacenadas en espacios disponibles en las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad, ya que no se cuenta con un área destinada para el resguardo del cable desnudo, que garantice su calidad y seguridad.

Figura 43. Caja de plástico para almacenamiento de residuos



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

Tomando en cuenta el periodo de septiembre de 2020 a septiembre de 2021, la empresa de servicios de electricidad ha recolectado un total de 320.17 Kg. de cable con recubrimiento, de los cuales, ha realizado su valorización en dos

ocasiones, una en marzo y otra en septiembre de 2021, obteniendo 94 Kg. y 61 Kg. de cable de cobre desnudo, respectivamente. Por lo que, anualmente, la compañía adquiere 155 Kg. de cable sin recubrimiento, correspondientes a 0.42 Kg. diarios.

Tabla 4. Cantidad de residuos generados y valorizados por periodo

Periodo	Peso total (Kg)	Recubrimiento (Kg)	Sin recubrimiento (Kg)
sep20-mar21	194.17	100.17	94
mar21-sep-21	126	65	61
Anual	320.17	165.17	155
Mensual	26.68	13.76	12.91
Diario	0.88	0.45	0.42

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

Una vez que se presenta nuevamente tiempo libre, se programa una jornada para enrollar el cable desnudo en bobinas y empaquetarlo en costales de polipropileno tejido, los cuales son pesados mediante una báscula romana de resorte con capacidad de 100 Kg., el peso se registra en una etiqueta que se coloca en el costal como referencia y comparación al momento de su venta en el centro de acopio. Los costales nuevamente son almacenados en espacios disponibles de las instalaciones.

Figura 44. Empaquetado de cable sin recubrimiento



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

## Reintegración

Una vez que se consolida alrededor de media tonelada de residuos valorizados y se cuenta nuevamente con tiempo libre, se programa media jornada para cargar los residuos al vehículo operativo, transportarlos al centro de acopio y regresar a las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad.

Transporte de los residuos al centro de acopio

Debido a la cantidad de residuos valorizados, es necesario programar la venta con el centro de acopio con anticipación, para lo cual, se define fecha y hora de arribo a las instalaciones de reciclaje ubicadas en Tultitlán, Estado de México. La empresa de servicios de electricidad programa la entrega a las 7am, en un día en el que no se registren proyectos o trabajos pendientes, para disminuir el riesgo de cualquier afectación a la operación de la compañía.

Con un día de anticipación, el equipo operativo carga los residuos valorizados en el vehículo de servicio y el día de la entrega, cuatro empleados y el operador proceden a realizar el traslado de los residuos del almacén temporal al centro de acopio, trayecto que involucra 58.9 Km. y un tiempo de tránsito de alrededor de una hora.

Una vez en las instalaciones del centro de acopio, el personal de la empresa de servicios de electricidad procede a descargar los residuos. Enseguida, trabajadores del centro de reciclaje pesan los residuos y emiten un ticket con el registro, el cual es utilizado para calcular el monto de la venta y generar la factura correspondiente. El pago de los residuos se realiza mediante transferencia en periodo no mayor a 48 horas hábiles y corresponde a un precio de \$100 por cada Kg. de cobre de 1ª y \$80 por cada Kg. de cobre de 2ª.

Con la venta del cobre en el centro de acopio finalizan los procesos que realiza la empresa de servicios de electricidad para valorizar los residuos no ferrosos y promover de esta manera una reducción de materiales enviados a SDF, así como emisiones contaminantes, al mismo tiempo que recibe beneficios económicos que emplea dentro de las finanzas de la compañía.

El centro de acopio consolida los residuos de múltiples generadores y aprovecha el modelo de economías de escala para reinsertar el cable de cobre desnudo en cadenas productivas a nivel nacional e internacional, delimitando el alcance global del proceso completo en relación con los metales no ferrosos y un modelo push, ya que es la empresa de servicios de electricidad quien promueve su valorización.

### **3.1.3 Canales**

El canal de distribución relacionado con la valorización de los metales ferrosos es mixto, ya que se encuentra dentro de un canal formal en el flujo inverso de las diferentes fuentes de generación al almacén temporal, mientras que el flujo inverso del almacén temporal al centro de acopio se realiza mediante agentes económicos informales, por lo que no se tiene un registro de la ubicación, proceso o alcance que tiene la valorización de los residuos de metales ferrosos, únicamente se registra un intermediario conocido entre el origen y el destino de los residuos.

Por otro lado, el canal de distribución de los metales no ferrosos es formal, desde las fuentes de generación hasta el centro de acopio, con la intervención de un agente entre ambos eslabones de la Cadena de Suministro Inversa, es decir, la empresa de servicios de electricidad.

### **3.1.4 Agentes**

Los agentes son los nodos que intervienen en la Cadena de Suministro Inversa y se agrupan en cuatro principales estructuras: agente generador, agente adquirente, agente valorizador y agente reintegrador, vinculados con las estructuras de los procesos que se realizan en el flujo inverso de a valorización de los residuos.

## Agente generador

El agente generador es la empresa de servicios de electricidad, ya que es a partir de las actividades que realiza, incluyendo mantenimiento, reparación e instalación eléctrica, que se generan los residuos, tanto ferrosos como no ferrosos.

## Agente adquirente

Tomando en cuenta las actividades de recolección, la empresa de servicios de electricidad igualmente funge como agente adquirente, ya que una vez finalizado el proyecto o la jornada laboral, reúne los residuos, los carga en la unidad de servicio y los retorna al almacén temporal.

## Agente valorizador

En relación con la valorización de los residuos, surge nuevamente la empresa de servicios de electricidad como el agente valorizador, ya que es el nodo que lleva a cabo las actividades de consolidación, manejo, separación, ruptura, clasificación, empaquetado, pesado y etiquetado de los residuos no ferrosos.

## Agente reintegrador

El agente reintegrador es un centro de acopio ubicado en Tultitlán, Estado de México, el cual brinda servicios de recolección, procesamiento, manejo, reciclaje y gestión de residuos metálicos, ferrosos y no ferrosos, resultantes de actividades económicas de la industria automotriz, metalmeccánica, de transformación e industrial. El centro de acopio recibe residuos de una gran cantidad de fuentes de generación y aprovecha el modelo de economías de escala para reinsertar los residuos valorizados en cadenas productivas<sup>29</sup>.

Figura 45. Agentes que intervienen en la Cadena de Suministro Inversa del caso de estudio



Fuente: Empresa de servicios de electricidad, 2021.

<sup>29</sup> Foremex, Op. Cit.

## **3.2 Análisis de Operaciones Logísticas de Adquisición**

Las Operaciones Logísticas de Adquisición analizadas corresponden al almacenamiento temporal y el manejo de materiales. Gracias a la caracterización de los procesos se identificaron vulnerabilidades que se tomaron como factores de análisis, además de registros de los costos en los que incurre actualmente la empresa de servicios de electricidad, para promover y evaluar alternativas que incentiven una mejora en términos logísticos en la valorización de los residuos, a través de la aplicación de un análisis costo-beneficio.

### **3.2.1 Almacenamiento temporal**

Con la caracterización de las actividades realizadas en el almacenamiento temporal de los residuos, se detectó que, el espacio destinado para almacenar el cable de cobre con recubrimiento es reducido en comparación con el volumen de generación de residuos, ya que, el almacén de reciclaje cuenta con una capacidad para acumular un promedio de 100 Kg. de cable, mientras que los residuos se generan en un promedio de 0.88 Kg. diariamente, por lo que la valorización debe realizarse aproximadamente cada cuatro meses, no obstante, en ocasiones no se cuenta con periodos libres de proyectos, por lo que la empresa comienza a acumular cable con recubrimiento en otros espacios disponibles de las instalaciones, hasta que se promueve su valorización, que regularmente se realiza cada seis meses.

Asimismo, la empresa de servicios de electricidad no cuenta con un espacio delimitado para almacenar los residuos valorizados de cobre, ya que reúne el cobre en cajas de plástico y costales de cable desnudo que ubica en espacios disponibles de las instalaciones de la compañía, lo cual, además de obstaculizar áreas comunes de tránsito del personal, deteriora la calidad de los residuos y no garantiza su seguridad ante posibles robos que se pueden suscitar por parte de trabajadores internos o proveedores que ingresan a las instalaciones.

#### **Costos de almacenamiento**

Para realizar el cálculo de los costos de almacenamiento fue necesario identificar los costos en los que incurre la empresa de servicios de electricidad en un año de almacenamiento de los residuos:

- **Servicios generales y mantenimiento.** La empresa de servicios de electricidad registra gastos mensuales por un total de \$6,200 al mes, los cuales involucran el pago de servicios y costos por mantenimiento del total de los 161.75m<sup>2</sup> que utiliza la empresa dentro de las instalaciones, de los cuales, únicamente 13.25m<sup>2</sup> corresponden al almacenamiento de los residuos (12.25m<sup>2</sup> del espacio de usos mixtos donde se acopia el cobre valorizado y 1m<sup>2</sup> del almacén de reciclaje), es decir, el 8.2% del total; por lo que, mensualmente, la compañía destina un estimado de \$507.88, equivalente a \$6,094.59 anuales.
- **Mano de obra.** La empresa de servicios de electricidad no cuenta con personal dedicado a la gestión del almacenamiento de los residuos, por lo que se considera únicamente los costos relacionados con el manejo de los

materiales, mismos que se detallan más adelante en el tema: “Manejo de materiales”. Para el manejo de 126 Kg. se registró un costo de \$805.73, por lo que, el manejo de cada Kg tiene un costo de \$6.4; correspondientes a los procesos de separación, ruptura y clasificación; multiplicado por 320.17 Kg. de cobre con recubrimiento que se almacena en un año, el costo fue de \$2,049.1. Asimismo, el costo promedio por hora de trabajo en el manejo de materiales es de \$153.47, considerando que en el proceso de empaquetado y etiquetado se procesan 17.5Kg por hora, se registró un costo total de \$1,359 por los 155Kg de cobre sin recubrimiento embalados en costales, por lo que el costo total de mano de obra fue de \$3,408.38.

- Maquinaria y equipo. Se toma en cuenta la maquinaria que se utiliza para la manipulación de los residuos y su almacenaje, por lo que se considera la maquina desforadora de cable con un valor de \$463.25<sup>30</sup> y 5 cajas de plástico, cada una con un coste de \$439.94<sup>31</sup>, es decir \$2,199.7, más los \$463.25 de la máquina, es un total de \$2,662.95 por maquinaria y equipo.
- Administración. La empresa no gestiona registros de inventario, entradas ni salidas de los residuos, por lo que no se consideran estos costos.

En total, la empresa de servicios de electricidad registró un costo anual de almacenamiento de \$12,165.64 en el 2021, por un total de 320.17Kg de residuos, así como un costo unitario de almacenamiento de \$33.75<sup>32</sup>. La Tabla 5 muestra los costos incurridos por la empresa de servicios de electricidad.

Tabla 5. Costos de almacenamiento en el año 2021

Costos	Valor anual
Servicios generales y mantenimiento	\$ 6,094.59
Mano de obra	\$ 3,408.38
Maquinaria y equipo	\$ 2,662.95
Total	\$ 12,165.64

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

### Requerimientos de la empresa

La empresa de servicios de electricidad requiere de un espacio, ya sea dentro o fuera de las instalaciones ubicadas en la Alcaldía Xochimilco, en el cual sea posible acopiar al menos 1 año de cable con recubrimiento, es decir, alrededor de 320.17 Kg. de residuos. No obstante, de acuerdo con información proporcionada por el director de la empresa, el acopio de residuos ha incrementado en un 55%

<sup>30</sup> Mercadolibre, “Maquina pelador cable 1-30mm Máquina de pelar Cables manual”, disponible en : [Máquina Pelador Cable 1-30mm Máquina De Pelar Cables Manual | Meses sin intereses \(mercadolibre.com.mx\)](https://www.mercadolibre.com.mx), fecha de consulta: 22 de octubre de 2022.

<sup>31</sup> Alveo, “Caja de plástico Walter cerrada 71 x 39.5 x 32 cm”, disponible en: [Caja de Plastico Walter Cerrada 71 x 39.5 x 32 cm | Alveo Trafiplastic](https://www.alveo.com.mx), fecha de consulta: 20 de octubre de 2022.

<sup>32</sup> Noegasystems, “Como calcular los costos de almacenaje o costes de un almacén”, disponible en: [Cómo calcular los costes de almacenaje o costes de un almacén \(noegasystems.com\)](https://www.noegasystems.com), fecha de consulta 22 de octubre de 2022.

desde 2018. Si continuara la misma tendencia de crecimiento, la empresa de servicios de electricidad estaría acopiando un estimado de 370.57Kg. en un corto plazo (2022), 587.36Kg. en un mediano plazo (2025) y 769.37Kg. en un largo plazo (2027). La Tabla 6 muestra el crecimiento estimado de acopio de residuos, considerando una tendencia constante de incremento del 55% cada 3 años.

Tabla 6. Crecimiento estimado del acopio de residuos

Año	Cobre sin recubrimiento (Kg)	Cobre con recubrimiento (Kg.)
2021	155.00	320.17
2022	179.40	370.57
2023	207.60	428.82
2024	240.30	496.36
2025	284.36	587.36
2026	328.41	678.36
2027	372.47	769.37

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

Considerando que 25Kg de cable con recubrimiento y 50Kg de cable sin recubrimiento se pueden almacenar en un espacio de 35x35x70cm. (medida de caja de plástico para almacenamiento), se estima que la empresa de servicios de electricidad requerirá un espacio de 2.3m<sup>2</sup> en un corto plazo (2022), 3.1m<sup>2</sup> en un mediano plazo (2025) y 3.6m<sup>2</sup> en un largo plazo (2027), limitando la altura del espacio a 2m.

El espacio contemplado podrá almacenar el cobre con recubrimiento acopiado durante el año en curso, así como el cobre sin recubrimiento resultante de la valorización de los residuos de un año anterior, suma que se muestra en la columna “Espacio total requerido (m<sup>2</sup>)” de la Tabla 7, la cual indica el espacio de almacenamiento que requerirá la compañía, tomando en cuenta el crecimiento estimado del acopio de residuos.<sup>33</sup>

Tabla 7. Estimación de espacio de almacenamiento requerido

Año	Cobre sin recubrimiento	Espacio requerido (m2)	Cobre con recubrimiento	Espacio requerido (m <sup>2</sup> )	Espacio total requerido (m <sup>2</sup> )
2021	155.00	0.6	320.17	1.7	
2022	179.40	0.6	370.57	1.7	2.3
2023	207.60	0.9	428.82	2.2	2.8
2024	240.30	0.9	496.36	2.2	3.1
2025	284.36	0.9	587.36	2.2	3.1
2026	328.41	0.9	678.36	2.7	3.6
2027	372.47	0.9	769.37	2.7	3.6

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

<sup>33</sup> Véase anexo 1.

Una vez estimado el acopio de los residuos y el espacio requerido, se calculan los costos aproximados en los que la empresa de servicios de electricidad podría incurrir en un corto, mediano y largo plazo.

- Servicios generales y mantenimiento. Actualmente la compañía cuenta con un espacio de 13.25m<sup>2</sup>, suficiente para almacenar anualmente el cobre con recubrimiento estimado para el corto, mediano y largo plazo. En ese sentido, se consideran los mismos costos de servicios generales y mantenimiento (\$6,094.59).
- Mano de obra. Para los costos de mano de obra se considera un promedio de \$6.4 por cada Kg en separación, clasificación y ruptura, así como \$153.47 por cada hora en empaquetado y etiquetado (17.5 Kg procesados por hora); multiplicados por el incremento en el acopio de cobre con recubrimiento; la empresa estaría registrando costos anuales por \$3,944.93 para el 2022, \$6,252.85 para el 2025 y \$8,190.35 para el 2027. La Tabla 8 detalla los costos estimados de mano de obra en un corto (2022), mediano (2025) y largo plazo (2027).

Tabla 8. Costos estimados de mano de obra en un corto, mediano y largo plazo

Plazo	Cantidad de cobre con recubrimiento (Kg)	Costo de separación, clasificación y ruptura	Cantidad de cobre sin recubrimiento (Kg)	Costo de empaquetado y etiquetado	Costo total de mano de obra
Corto (2022)	370.57	\$ 2,371.64	179.40	\$ 1,573.29	\$ 3,944.93
Mediano (2025)	587.36	\$ 3,759.13	284.36	\$ 2,493.71	\$ 6,252.85
Largo (2027)	769.37	\$ 4,923.94	372.47	\$ 3,266.41	\$ 8,190.35

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

1. Maquinaria y equipo. El costo se mantendría para el 2022, ya que las 5 cajas con las que cuenta la compañía pueden almacenar hasta 250Kg de cobre sin recubrimiento. Para el 2025 se requerirían al menos 6 cajas y 7 para el 2027, incrementando el costo en \$3,102.89 y \$3,542.83, respectivamente.

La Tabla 9 muestra la estimación de los costos de almacenamiento de la empresa de servicios de electricidad, resultando en un total de \$12,702.47 en un corto plazo, \$15,450.33 en un mediano plazo y en \$17,827.77 en un largo plazo.

Tabla 9. Estimación de costos de almacenamiento a corto, mediano y largo plazo

Plazo	Servicios generales y mantenimiento	Mano de obra	Maquinaria y equipo	Costo anual estimado
Corto (2022)	\$ 6,094.59	\$ 3,944.93	\$ 2,662.95	\$ 12,702.47
Mediano (2025)	\$ 6,094.59	\$ 6,252.85	\$ 3,102.89	\$ 15,450.33
Largo (2027)	\$ 6,094.59	\$ 8,190.35	\$ 3,542.83	\$ 17,827.77

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

La estimación del crecimiento en el acopio de los residuos, en el espacio y en los costos de almacenamiento brindan información relevante sobre los requerimientos de la empresa de servicios de electricidad para el análisis costo-beneficio.

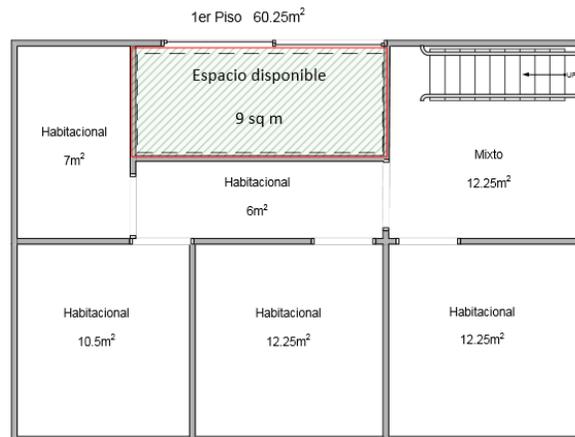
### Alternativas

Se plantean cuatro alternativas de almacenamiento para el acopio de los residuos con la finalidad de promover opciones de espacio que cumplan con los requerimientos de la empresa de servicios de electricidad: espacio, seguridad, así como mantenimiento de la calidad y control de los residuos.

#### 1. Adecuación de un espacio dentro de las instalaciones de la empresa

Los espacios libres de las instalaciones son muy reducidos ante el crecimiento que ha presentado la compañía a lo largo de 11 años. Uno de los espacios disponibles que no es de uso habitacional se encuentra en el 1<sup>er</sup> piso (Figura 46), con un total de 9.75m<sup>2</sup>, no obstante, la zona requiere trabajos de construcción.

Figura 46. Espacio libre en las instalaciones de la empresa



Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

La adaptación del espacio dentro de las instalaciones tiene un costo estimado de \$688 por metro cuadrado<sup>34</sup>, tomando en cuenta que se requieren 2.3m<sup>2</sup> en un corto plazo, 3.1m<sup>2</sup> en un mediano plazo y 3.6m<sup>2</sup> en un largo plazo, el total sería de \$1,582.40, \$2,132.80 y \$2,476.80, respectivamente, mientras que los costos anuales de servicios generales y mantenimiento serían de \$1,057.91, \$1,425.88 y \$1,655.86, respectivamente, considerando el costo por m<sup>2</sup> de \$38.33 en las instalaciones. Mientras que los costos de mano de obra, así como de maquinaria y equipo no cambian, ya que se mantienen los procesos. La Tabla 10 muestra el costo total estimado, siendo un total de \$9,248.19 en el corto plazo, \$12,914.41 en el mediano plazo y \$15,865.83 en el largo plazo.

<sup>34</sup> Tecno Group, "Precios unitarios", disponible en: <https:// analisisdepreciosunitarios.com/losa-de-concreto-8919>, fecha de consulta: 29 de noviembre de 2021.

Tabla 10. Costo total estimado de la alternativa 1

Plazo	Costo de construcción	Servicios generales y mantenimiento	Mano de obra	Maquinaria y equipo	Costo total
Corto	\$ 1,582.40	\$ 1,057.91	\$3,944.93	\$2,662.95	\$9,248.19
Mediano	\$ 2,132.80	\$ 1,425.88	\$6,252.85	\$3,102.89	\$12,914.41
Largo	\$ 2,476.80	\$ 1,655.86	\$8,190.35	\$3,542.83	\$15,865.83

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

La alternativa 1 muestra una reducción en los costos totales a pesar de requerir una inversión inicial para la construcción del espacio, ya que estaría diseñado de acuerdo con los requerimientos de la empresa de servicios de electricidad, sin necesidad de ocupar espacios mixtos dentro de las instalaciones. La Tabla 11 compara los costos estimados de la situación y procesos actuales de la empresa de servicios de electricidad con los de la alternativa 1, registrándose un ahorro estimado de \$3,454.28 para el 2022, \$2,535.91 para el 2025 y de \$1,961.93 para el 2027.

Tabla 11. Comparación de costos de almacenamiento con alternativa 1

Plazo	Costo estimado de situación actual	Costo estimado de alternativa 1	Ahorro estimado
Corto	\$ 12,702.47	\$ 9,248.19	\$ 3,454.28
Mediano	\$ 15,450.33	\$ 12,914.41	\$ 2,535.91
Largo	\$ 17,827.77	\$ 15,865.83	\$ 1,961.93

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

Evidentemente el ahorro estimado es mayor a corto plazo (27%) ya que los costos de inversión son menores, sin embargo, el espacio se encuentra en función del crecimiento estimado de los residuos, por lo que la inversión será necesaria conforme se registre el crecimiento, no obstante, aún para el 2027 se presenta un ahorro estimado del 11%.

## 2. Renta de local

En un radio de 3Km de la ubicación de la empresa de servicios de electricidad se encuentran locales en renta con un costo promedio de \$333.33 por m<sup>2</sup>, no obstante, el promedio de espacio total es de 9m<sup>2</sup>, muy por encima del requerimiento de espacio de almacenamiento de la compañía, incluso tomando en cuenta la estimación para 2027. Los costos de servicios generales y mantenimiento son de \$36,000 anuales, mientras que los costos de mano de obra y maquinaria y equipo se mantienen iguales, siendo el costo total estimado de \$42,607.88 para el 2022, \$45,355.74 para el 2025 y de \$47,733.18 para el 2027; un excedente del 235%, 194% y del 168%, respectivamente. La Tabla 12 compara los costos entre la estimación base y la alternativa 2.

Tabla 12. Comparación de costos de almacenamiento con alternativa 2

Plazo	Costo estimado de situación actual	Costo estimado de alternativa 2	Diferencia
Corto	\$ 12,702.47	\$ 42,607.88	-\$ 29,905.41
Mediano	\$ 15,450.33	\$ 45,355.74	-\$ 29,905.41
Largo	\$ 17,827.77	\$ 47,733.18	-\$ 29,905.41

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

La alternativa de rentar un local no es viable en términos de costo, debido a que el espacio no es el adecuado en relación con lo que la empresa requiere en un corto, mediano o largo plazo.

### 3. Multibodegas, sucursal Xochimilco

“Multibodegas” es una compañía de renta de bodegas de auto almacenamiento en la CDMX que cuenta con espacios de 1.5 a 30m<sup>2</sup>. El costo de servicios generales y mantenimiento se encuentra en \$333.33 por m<sup>2</sup>, no obstante, no cuentan con bodegas del tamaño específico que requiere la empresa de servicios de electricidad, los tamaños que se acoplan a los requerimientos son bodegas de 3 y 5m<sup>2</sup>, por lo que el costo anual es de \$12,000 y \$19,999.80, respectivamente. Así como en las alternativas anteriores, se toman mismos costos de mano de obra, maquinaria y equipo, resultando en un total de \$18,607.88 en el corto plazo, \$29,355.54 en un mediano plazo y \$31,732.98 en un largo plazo, es decir, al igual que con la alternativa 2, se registra un excedente, en este caso de un 46%, 90% y 78% más, respectivamente.

Tabla 13. Comparación de costos de almacenamiento con alternativa 3

Plazo	Costo estimado de situación actual	Costo estimado de alternativa 3	Diferencia
Corto	\$ 12,702.47	\$18,607.88	- \$5,905.41
Mediano	\$ 15,450.33	\$29,355.54	- \$13,905.21
Largo	\$ 17,827.77	\$31,732.98	- \$13,905.21

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021) y Multibodegas (2022).

La alternativa 3 no representa un ahorro con respecto a la situación actual de la empresa de servicios de electricidad, por lo que no se toma como una opción para incrementar el beneficio en el presente análisis.

### 4. U-Storage, sucursal Universidad

Al igual que “Multibodegas”, “U-Storage” es una compañía de renta de bodegas de auto almacenamiento que cuenta con espacios de 1 a 200m<sup>2</sup>. El costo de servicios generales y mantenimiento se encuentra en \$172.12 por m<sup>2</sup>. La bodega de menor tamaño se adecúa al requerimiento de la empresa de servicios de electricidad en el corto plazo (2.3m<sup>2</sup>), mientras que, para el mediano y largo plazo, sería el tamaño de 4.5m<sup>2</sup>, por lo que el costo anual es de \$4,750.56 y de \$9,294.48, respectivamente (U-storage, 2022). Asimismo, se toman mismos costos de mano

de obra, maquinaria y equipo, resultando en un total de \$11,358.44 en el corto plazo, \$18,650.22 en un mediano plazo y \$21,027.66 en un largo plazo.

Tabla 14. Comparación de costos de almacenamiento con alternativa 4

Plazo	Costo estimado de situación actual	Costo estimado de alternativa 4	Diferencia
Corto	\$ 12,702.47	\$11,358.44	\$1,344.03
Mediano	\$ 15,450.33	\$18,650.22	-\$3,199.89
Largo	\$ 17,827.77	\$21,027.66	-\$3,199.89

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021) y U-Storage (2022).

La alternativa 4 es muy similar en términos de costos con respecto a la situación base de comparación, en el 2022 se registra un ahorro del 3%, mientras que para el 2025 y 2027 un excedente de únicamente el 7%.

La comparación de las cuatro alternativas se muestra en la Tabla 15. Únicamente la alternativa 1 es la que presenta ahorros en cualquiera de los tres escenarios analizados, mientras que la alternativa 4 registra ahorros a corto plazo, el resto de las opciones involucra costos más altos que los estimados con los procesos y espacios de almacenamiento actuales en la empresa de servicios de electricidad.

Tabla 15. Comparación de diferencia en costos de almacenamiento de las 4 alternativas

Plazo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Corto	\$ 3,454.28	-\$ 29,905.41	- \$ 5,905.41	\$ 1,344.03
Mediano	\$ 2,535.91	-\$ 29,905.41	- \$ 13,905.21	-\$ 3,199.89
Largo	\$ 1,961.93	-\$ 29,905.41	- \$ 13,905.21	-\$ 3,199.89

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

Además del análisis de la OLA de almacén temporal, se analiza el manejo de materiales a partir de la caracterización del proceso, la identificación de costos relacionados con la clasificación de los residuos y la ruptura del aislante plástico, así como la delimitación de alternativas para agregar valor a los residuos.

### **3.2.2 Manejo de materiales**

La caracterización del manejo de materiales en el apartado de valorización del tema 3.1.2 del presente proyecto, describe las actividades de manipulación que realiza la empresa en los residuos metálicos, incluyendo su traslado del almacén de reciclaje a la zona de manipulación de materiales, su separación, el montaje de la máquina desforadora, el estiramiento del cable de calibre AWG 10, 12, 14 y 16, la ruptura del aislante plástico, el empaquetado en costales y el almacenaje del cable de cobre valorizado.

#### **Costo del manejo de materiales**

Con la visita de campo a las instalaciones de la empresa de servicios de electricidad, realizada el 17 de septiembre de 2021, se identificaron los costos asociados al manejo de materiales, tomando en cuenta el tiempo que el equipo operativo dedica a los procesos de separación, clasificación y ruptura, la cantidad de colaboradores involucrada, así como el sueldo promedio por hora de los empleados implicados en la realización de cada proceso.

De un periodo de observación de 5 horas con 15 minutos y una cantidad inicial de 126 Kg. de residuos, acopiados de marzo a septiembre de 2021, se obtuvo un total de 61 Kg. de cobre desnudo, en cada uno de los procesos participó de uno a cuatro trabajadores, por lo que se calculó el promedio del sueldo por hora por actividad y se multiplicó por el tiempo correspondiente, resultando en un costo total de \$805.73.

La Tabla 16 muestra el proceso, la hora inicial y final de cada actividad, el tiempo dedicado, la cantidad de empleados implicados, la inicial del nombre de cada colaborador, por motivos de confidencialidad, el costo por personal, es decir, el sueldo individual por hora que recibe el empleado (difiere dependiendo el trabajador), el costo por equipo, resultado de la multiplicación del costo por personal y la cantidad de empleados, así como el costo total, el cual toma la proporción del costo por equipo y el tiempo dedicado al proceso, además del peso en Kg. del cable con recubrimiento al momento de iniciar el proceso de ruptura y el peso en Kg. del cobre obtenido una vez valorizado.

Tabla 16. Registro de tiempo y costo en el manejo de materiales (17-sep-21)

Fecha	Proceso	Hora inicial	Hora final	Tiempo	Personal	Inicial	Costo por personal	Costo por equipo	Costo total	Peso inicial (kg)	Cobre valorizado (Kg)
17-sep	Traslado	09:30	10:00	00:30	1	J	\$43.75	\$43.75	\$21.88	-	-
17-sep	Separación	10:00	10:30	00:30	1	J	\$43.75	\$43.75	\$21.88	-	-
17-sep	Separación	10:30	11:15	00:45	2	C, J	\$34.38	\$68.75	\$51.56	-	-
17-sep	Montaje	10:30	11:15	00:45	2	D, J	\$43.75	\$87.50	\$65.63	-	-
17-sep	Estiramiento	11:15	12:15	01:00	4	D, J, C, E	\$34.38	\$137.50	\$137.50	-	-
17-sep	Estiramiento	12:15	13:15	01:00	2	D, J	\$43.75	\$87.50	\$87.50	-	-
17-sep	Estiramiento	13:15	14:15	01:00	1	J	\$43.75	\$43.75	\$43.75	-	-
17-sep	Ruptura	11:40	14:15	02:35	2	D, J	\$43.75	\$87.50	\$226.04	64	11
17-sep	Ruptura	12:40	13:15	00:35	2	P, O	\$40.63	\$81.25	\$47.40	29	24
17-sep	Ruptura	13:40	14:15	00:35	3	C, P, O	\$35.42	\$106.25	\$61.98	20	15
17-sep	Ruptura	14:15	14:45	00:30	2	P, O	\$40.63	\$81.25	\$40.63	13	11
<b>05:15</b>									<b>\$805.73</b>	<b>126</b>	<b>61</b>

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

El 17 de septiembre de 2021, se tomó nota de los residuos que la empresa de servicios de electricidad generó, recolectó y valorizó en el periodo de septiembre de 2020 a marzo de 2021. En este periodo de seis meses, se acopió un total de 194.17 Kg. de residuos con recubrimiento, de los cuales, se obtuvieron 94 Kg. de cable desnudo. El personal de la compañía realizó la clasificación del cable en cobre de 1ª y cobre de 2ª, para lo cual, se empleó un trabajador y la actividad duró una hora con 20 minutos. Finalmente se registraron 54 Kg. de cobre de 1ª y 40 Kg. de cobre de 2ª, correspondiente al 42.5% del total.

Tomando en cuenta los precios de compra, actualizados al 2021, de cobre de 1ª y cobre de 2ª, se tiene un valor de \$160 y \$147 por cada Kg., respectivamente<sup>35</sup>, por lo que se calcula que, el valor de los residuos clasificados es de un total de \$14,520, contra un total de \$15,040 en caso de que se clasificara la totalidad de los 94Kg como cobre de 1ª, registrándose una diferencia de \$520.

Tabla 17. Cantidad de cobre de 1ª y cobre de 2ª clasificado en el primer periodo (marzo 2021)

Clasificación	Cantidad (Kg)	Precio por Kg.	Total
Cobre de 1ª	54	160	\$ 8,640.00
Cobre de 2ª	40	147	\$ 5,880.00
Total	94		\$14,520.00

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

<sup>35</sup> MetalesZi, "Lista de precio de compra", disponible en: [https://www.metaleszi.com.mx/sistema/pdf/precios\\_compra.php](https://www.metaleszi.com.mx/sistema/pdf/precios_compra.php), fecha de consulta: 29 de noviembre de 2021.

Analizando la caracterización de las OLA de manejo de materiales, se identificó que era posible agregar mayor valor a los residuos incluyendo la limpieza del cobre de 2ª, con la finalidad de obtener el máximo valor por la valorización, no obstante, la diferencia entre ambas clasificaciones es mínima, por lo que, a pesar de que una gran cantidad de residuos se clasifica dentro del cobre de 2ª, no representa un suma monetaria considerable, lo que dificulta configurar un proceso cuyo costo sea menor a los beneficios potenciales.

#### Alternativas para la limpieza del cobre

En el mercado existe una gran cantidad de productos que promueven la limpieza del cobre y otros metales, tanto ferrosos como no ferrosos, para la eliminación de impurezas, suciedad, opacidad y óxido. El agregar la OLA de limpieza dentro de los procesos de manejo materiales, involucra costos por la adquisición del producto de limpieza que en promedio se sitúan en \$200 por cada 200g., a su vez, sería necesario emplear personal para la limpieza del cobre, cuyo promedio de valorización se encuentra en 10 Kg. por hora, con un costo por hora de \$25, por lo que, en total, se considera un costo de \$300 para la limpieza de 40 Kg. de cobre, contra el beneficio por la venta de cobre de 1ª por un total de \$520, representando una utilidad de \$220. Utilidad variable en función de la diferencia entre los precios de compra del cobre de 1ª y del cobre de 2ª, y la cantidad de Kg de cobre de 2ª.

Tabla 18. Utilidad en la limpieza de cobre de 2ª

Cantidad de cobre de 2ª (Kg)	Costo de limpieza	Beneficio	Utilidad
40	\$ 300	\$520	\$220

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

### **3.3 Análisis de Operaciones Logísticas de Transporte**

Se realizó el análisis costo beneficio de las Operaciones Logísticas de Transporte de gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo, diseño de la red de transporte y actuación de agentes logísticos.

#### **3.3.1 Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo**

Actualmente la empresa de servicios de electricidad cuenta con un vehículo para transportar herramienta y equipo utilizado en los servicios que realiza a nivel doméstico, comercial e industrial, unidad que emplea igualmente para la recolección de los residuos de las fuentes de generación, así como para su transporte al centro de acopio, donde regularmente transporta cargas de media tonelada de residuos, frente a una capacidad del vehículo de 1.5 toneladas, por lo que la capacidad del vehículo es subutilizada en un 66.7%.

La empresa de servicios de electricidad incurre en costos de combustible. El recorrido de 58.9Km del almacén temporal al centro de acopio, con un rendimiento del vehículo de 10.5Km/L, requiere de 5.6L de gasolina, considerando un costo por litro de \$22.01<sup>36</sup>, el costo total del combustible es de \$123.26.<sup>37</sup>

A su vez, la empresa emplea a 4 miembros de su personal para hacer el traslado de los residuos. El costo promedio por hora del total del equipo es de \$52.43, tomando en cuenta que se requiere de una hora para el traslado de los residuos, el costo total por el personal es de \$209.72.

El costo de almacenamiento de 500Kg involucra costos de servicios generales y mantenimiento de \$18,283.77 por tres años, mano de obra para la separación, ruptura y clasificación de \$6,610.20 y de \$4,384.86 por empaquetado y etiquetado, además de maquinaria y equipo por \$4,862.65, siendo un total de \$34,141.48.

Los costos en los que incurre la empresa de servicios de electricidad por combustible, personal en el traslado y almacenamiento de los 500Kg resulta en un total de \$34,474.46. La empresa de servicios de electricidad no cuenta con registros de costos de mantenimiento del vehículo en el periodo de investigación del proyecto, a su vez, el vehículo no está asegurado, por lo que no se incluyen estos costos dentro del análisis. La Tabla 19 muestra el desglose del análisis de costos.

---

<sup>36</sup> Gasolinamx, "Precio México", disponible en: [GASOLINA HOY - Precio en México \(gasolinamx.com\)](https://gasolinamx.com), fecha de consulta: 06 de noviembre de 2022.

<sup>37</sup> La empresa de servicios de electricidad no regresa al almacén temporal una vez valorizados los residuos, sino que, del Centro de Acopio continúa con sus actividades programadas relacionadas con el servicio de electricidad, por lo que únicamente se considera el viaje de ida para el cálculo del combustible y del personal de traslado.

Tabla 19. Análisis de costos en la gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo (500Kg)

Tipo de costo	Cantidad
Combustible	\$ 123.26
Personal de traslado	\$ 209.72
Servicios generales y mantenimiento	\$ 18,283.77
Mano de obra	\$ 10,995.06
Maquinaria y equipo	\$ 4,862.65
Total	\$ 34,474.46

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

El beneficio por la reproducción de materiales se calcula a partir del valor del cobre, en este caso se toma el último precio en el que la empresa de servicios de electricidad vendió el residuo en el centro de acopio; es decir, \$100 para el cobre de 1ª y \$80 para el cobre de 2ª. Tomando en cuenta que el 57.45% del cobre sin recubrimiento que se valoriza es cobre de 1ª y el restante 42.55% es cobre de 2ª. El total del beneficio por la valorización de 500Kg de residuos es de \$45,744.68, por lo que la utilidad es de \$11,270.22.

#### Alternativa

El aprovechamiento de la capacidad del vehículo requiere que se valoricen 1,500Kg de residuos, para ello, el consumo de combustible incrementaría de 5.6L a 8.4L, considerando que aumenta 5% por cada 100Kg adicionales de carga<sup>38</sup>, por lo que el costo sería de \$184.88.

Contemplando el espacio en la cabina del vehículo, únicamente se emplearía a 3 miembros del personal, por lo que el costo sería de \$157.29. Mientras que el almacenamiento de los 1,500Kg involucra costos de servicios generales y mantenimiento de \$36,567.54 por seis años, mano de obra para la separación, ruptura y clasificación de \$19,830.61 y de \$13,154.57 por empaquetado y etiquetado, además de maquinaria y equipo por \$13,661.45, siendo un total de \$83,214.17.

Los costos de combustible, personal en el traslado y almacenamiento por la cantidad de 1,500Kg de residuos resulta en un total de \$83,556.34. La Tabla 20 muestra el desglose del análisis de costos.

<sup>38</sup> Desguace, “6 consejos para que reducir el gasto de gasolina en tu vehículo”, disponible en: [6 consejos para que reducir el gasto de gasolina en tu vehículo \(desguacesn430.com\)](https://desguacesn430.com), fecha de consulta: 06 de noviembre de 2022.

Tabla 20. Análisis de costos en la gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo (1,500Kg)

Tipo de costo	Cantidad
Combustible	\$ 184.88
Personal de traslado	\$ 157.29
Servicios generales y mantenimiento	\$ 36,567.54
Mano de obra	\$ 32,985.18
Maquinaria y equipo	\$ 13,661.45
Total	\$ 83,556.34

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).

La valorización de 1,500Kg de cobre, implica 855Kg de cobre de 1ª y 645Kg de cobre de 2ª, considerando el mismo precio en el valor de venta del cobre de \$100 y \$80, respectivamente, el beneficio por la reproducción de materiales sería de \$137,100.00 y la utilidad de \$53,543.66.

Para comparar la alternativa de la situación actual de la empresa de servicios de electricidad con la valorización de 1,500Kg, se toman en cuenta los mismos costos de servicios generales y mantenimiento (\$36,567.54), mano de obra (\$32,985.18), así como maquinaria y equipo (\$13,661.45), y se agregan los costos de 3 servicios de personal de traslado: \$369.78 y combustible: \$629.16, registrando un costo total de \$84,213.11 y una utilidad de \$52,886.89; \$656.77 por debajo de la utilidad de traslado de los 1,500Kg, gestionando el aprovechamiento de la capacidad del vehículo. La Tabla 21 muestra la comparación en costo, beneficio y utilidad en la valorización de 1,500Kg de residuos con y sin el aprovechamiento de la capacidad del vehículo.

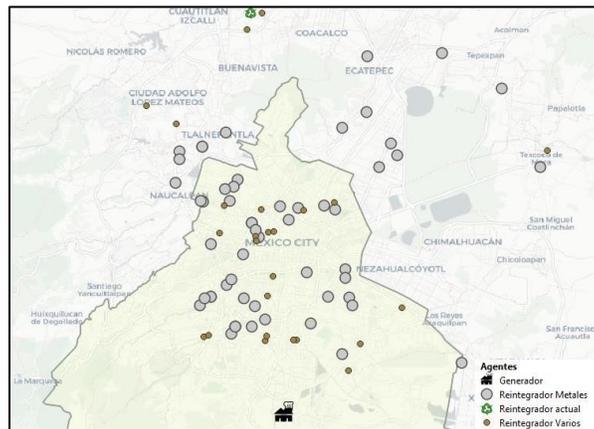
Tabla 21. Comparación en costo, beneficio y utilidad en la valorización de 1,500Kg de residuos

Aprovechamiento de la capacidad del vehículo	Costo total	Beneficio total	Utilidad
Si	\$ 83,556.34	\$ 137,100.00	\$ 53,543.66
No	\$ 84,213.11	\$ 137,100.00	\$ 52,886.89
Diferencia			\$ 656.77

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021).



Figura 48. Ubicación geoespacial de las alternativas de Centro de Acopio



Fuente: SEMARNAT (2010).

De los 80 centros de acopio que valorizan metales en la ZMVM (SEMARNAT, 2010), se consideran únicamente las 10 alternativas más cercanas al almacén temporal, a partir de la distancia lineal que existe entre cada punto y la empresa de servicios de electricidad. La Tabla 22 muestra el top 10 de los centros de acopio más cercanos al almacén temporal.

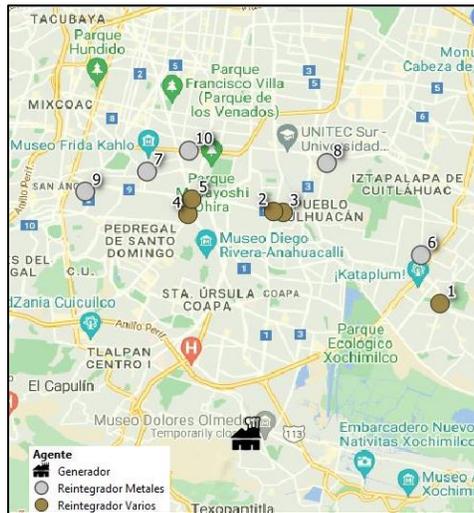
Tabla 22. Top 10 de centros de acopio más cercanos al almacén temporal

Posición	Centro de Acopio	Distancia lineal (Km)
1	Depósito San Lorenzo	8.1
2	Depósito San Juan	8.1
3	Recicladora San Juan	8.1
4	Reciclaje Pacífico	8.2
5	Santos Valdez	8.7
6	Alcamare S. de R.L. de C.V.	8.8
7	Reciclados industriales	10.0
8	Recicla y Juega S.A. de C.V.	10.1
9	Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	10.3
10	Recicla Ortiz	10.4

Fuente: SEMARNAT (2010).

La Figura 49 muestra la ubicación geoespacial de los 10 centros de acopio más cercanos al almacén temporal. Los números indicados en cada uno de los puntos hacen referencia a la posición del 1 al 10 en cuanto a distancia con respecto al almacén temporal (véase Tabla 22).

Figura 49. Ubicación geoespacial de las 10 alternativas de Centro de acopio más cercanas al almacén temporal



Fuente: SEMARNAT (2010).

### Cumplimiento de los requerimientos

De los 10 centros de acopio más cercanos a la empresa de servicios de electricidad, dos no fueron localizables: Reciclaje Pacífico y Reciclados industriales. El primero se encuentra clausurado, mientras que, en la dirección del segundo, ya no se ubica un centro de acopio, sino una institución bancaria, por lo que se descartan como alternativas de valorización. La Figura 50 muestra imágenes de ambas direcciones.

Figura 50. Alternativas no localizables de centro de acopio



Fuente: Google Maps (2022).

Los centros de acopio de Depósito San Lorenzo, Depósito San Juan, Recicladora San Juan y Recicla Ortiz, no cuentan con el permiso RAMIR de la SEDEMA, además de que el primero no pesa los residuos mediante una báscula certificada, por lo que igualmente se descartan como alternativas para la valorización de los residuos, a pesar de que los tres primeros son los más cercanos a las

instalaciones de la empresa de servicios de electricidad, a sólo 8.1 Km de distancia<sup>39</sup>.

El centro de acopio Alcamare S. de R.L. de C.V., si bien, cuenta con el permiso RAMIR, emplea básculas certificadas y realiza el pago inmediato al momento de la descarga, actualmente no valoriza cobre, sino únicamente chatarra y latas de aluminio en la categoría de metales, por tanto, se excluye como alternativa de valorización<sup>40</sup>.

Finalmente, de los 10 centros de acopio más cercanos a la empresa de servicios de electricidad, tres cumplen con los requerimientos de la compañía:

1. Santos Valdez. Cuenta con el ingreso del permiso RAMIR, actualmente está en trámite. Emplea báscula certificada y el pago por los residuos lo realiza a partir de depósito bancario, regularmente el mismo día, máximo un día hábil después de su acopio. El precio de compra del cobre de 1ª se encuentra en \$120 y del cobre de 2ª en \$105 (22 de agosto de 2022).

Figura 51. Centro de acopio Santos Valdez



Fuente: Esfácilreciclar (2022).

2. Recicla y Juega S.A. de C.V. Permiso RAMIR vigente, báscula certificada y pago a través de transferencia bancaria máximo 1 día hábil después de la descarga de los residuos. El precio de compra del cobre de 1ª se encuentra en \$115 y el del cobre de 2ª en \$125 (24 de agosto de 2022).

Figura 52. Centro de acopio Recicla y Juega S.A. de C.V.



Fuente: Reciclayjuegamx (2022).

<sup>39</sup> Véase anexo 4.

<sup>40</sup> Alcamare, "Compra de materiales reciclables", disponible en: [COMPRA DE MATERIALES RECICLABLES \(alcamare.com\)](http://alcamare.com), fecha de consulta: 20 de agosto de 2022.

- Centros de Reciclaje Recupera S.A. de C.V. Permiso RAMIR vigente, báscula certificada. El pago se realiza el viernes siguiente al acopio de los residuos. El precio de compra del cobre de 1ª se encuentra en \$137 y el del cobre de 2ª en \$121 (26 de agosto de 2022).

Figura 53. Centro de Reciclaje de Miguel Ángel de Quevedo de Centros de Reciclaje Recupera S.A. de C.V.



Fuente: Recupera (2022).

La Tabla 23 muestra el cumplimiento de los requerimientos de la empresa de servicios de electricidad y los precios de compra de cada una de las tres alternativas. Centros de Reciclaje Recupera S.A. de C.V. tiene el precio más alto de compra de cobre de 1ª (\$137 por Kg) y el segundo de cobre de 2ª (\$121 por Kg), por debajo de Recicla y Juega S.A. de C.V. (\$125).

Tabla 23. Alternativas de centro de acopio que cumplen con los requerimientos

Centro de acopio	Permiso RAMIR	Báscula certificada	Precio cobre de 1a	Precio cobre de 2a
Santos Valdez	■	▲	\$ 120	\$ 105
Recicla y Juega S.A. de C.V.	▲	▲	\$ 115	\$ 125
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	▲	▲	\$ 137	\$ 121

Cumple ▲ | En trámite ■

Fuente: Esfácilrecicar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

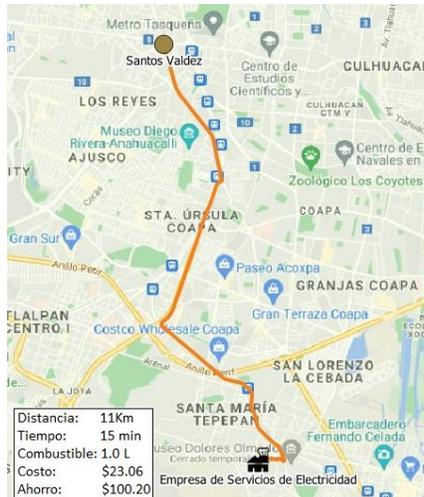
## Costos

El cálculo del costo de envío se determina a partir de la variación en el costo de combustible, el cual se determina a partir de la medición de la distancia, en este caso, de la ruta que seguiría el vehículo de la empresa de servicios de electricidad, del almacén temporal a cada una de las alternativas, la cual se multiplica por el consumo de combustible en litros, tomando en cuenta el rendimiento de 10.5KM/L y, a su vez, se multiplica por el costo de combustible de \$22.01 por litro.

- Santos Valdez. Se determina una posible ruta del almacén temporal al centro de acopio, con una distancia de 11.0 Km y una duración de aproximadamente 15 min, considerando una velocidad máxima de 80 Km por hora. El consumo de combustible sería de 1.0 L y el costo de combustible de \$23.06, registrándose un posible ahorro de \$100.20, equivalente al 81% del costo de combustible de la red actual (\$123.26). La Figura 54 muestra la posible ruta

que podría seguir la empresa de servicios de electricidad en la valorización de los residuos con el centro de acopio Santos Valdez.

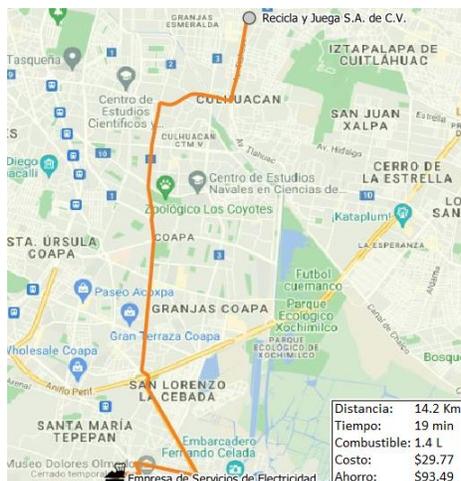
Figura 54. Red de transporte con la alternativa de centro de acopio Santos Valdez



Fuente: Esfácilreciclar (2022).

2. Recicla y Juega S.A. de C.V. Se configura una posible ruta del almacén temporal al centro de acopio con una distancia de 14.2 Km, aproximadamente 19 min de recorrido (velocidad máxima de 80 Km por hora), registrando un consumo estimado de 1.4 L de combustible, equivalente a un costo de \$29.77 y un posible ahorro de \$93.49, es decir, el 76% del costo de combustible de la red actual.

Figura 55. Red de transporte con la alternativa de centro de acopio Recicla y juega

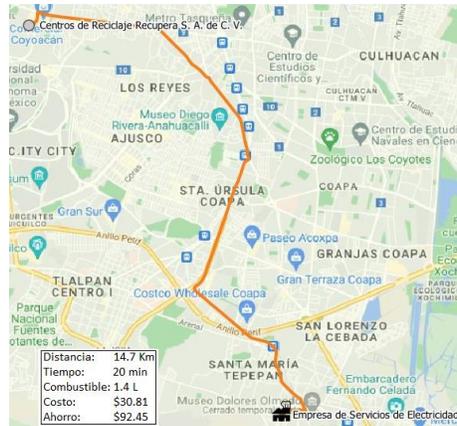


Fuente: Reciclayjuegamx (2022).

3. Centros de Reciclaje Recupera S.A. de C.V. Se establece una ruta del almacén temporal al centro de acopio de 14.7 Km de distancia y 20 min de recorrido (velocidad máxima 80 Km por hora), la cual implica un consumo estimado de

1.4 L de combustible y un costo de \$30.81, lo cual podría genera un ahorro de \$92.45, equivalente al 75% del costo de combustible de la red actual.

Figura 56. Red de transporte con la alternativa de centro de acopio Recupera



Fuente: Recupera (2022).

La Tabla 24 compara la distancia de las rutas, el costo de combustible y el ahorro que se podría obtener en el envío de los residuos a las alternativas de centro de acopio, donde la opción de Santos Valdez involucra un menor costo con \$23.06 y, por lo tanto, una mayor posibilidad de ahorro en el mismo de 81%.

Tabla 24. Costos de envío de alternativas de centro de acopio

Centro de acopio	Distancia de ruta (Km)	Costo de combustible	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Santos Valdez	11.0	\$23.06	\$100.20	81%
Recicla y Juega S.A. de C.V.	14.2	\$29.77	\$93.49	76%
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	14.7	\$30.81	\$92.45	75%

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021) y Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

Para el cálculo de los costos totales de las alternativas se toman en cuenta los costos analizados en el apartado 3.3.1 Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo de \$34,474.46, en los que incurrió la empresa de servicios de electricidad en la valorización de 500Kg de residuos y se resta la diferencia en el costo de combustible (Tabla 24) de cada una de las alternativas, dando como resultado \$34,374.26 para el centro de Acopio Santos Valdez, \$34,380.97 para Recicla y Juega y \$34,382.01 para Centros de Reciclaje Recupera.

Tabla 25. Costos totales de alternativas de centro de acopio

Alternativa	Costo total
Santos Valdez	\$34,374.26
Recicla y Juega S.A. de C.V.	\$34,380.97
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	\$34,382.01

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021) y Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

## Beneficios

Para el cálculo de los beneficios de las alternativas se toma en cuenta un supuesto de valorización de 500Kg de residuos (57.45% de cobre de 1ª y 42.55% de cobre de 2ª), ya que es la cantidad base de la empresa de servicios de electricidad, así como el precio de compra de cobre de 1ª y cobre de 2ª de cada centro de acopio, siendo un total de \$65,096 en Centros de Reciclaje Recupera, \$59,628 en Recicla y Juega y \$56,809 en Santos Valdez. La Tabla 26 indica el cálculo de los beneficios de las alternativas.

Tabla 26. Beneficio de las alternativas de centro de acopio

Centro de acopio	Precio de compra de cobre de 1a	Beneficio	Precio de compra de cobre de 2a	Beneficio	Beneficio total
Santos Valdez	\$120	\$34,468	\$105	\$22,340	\$56,809
Recicla y Juega S.A. de C.V.	\$115	\$33,032	\$125	\$26,596	\$59,628
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	\$137	\$39,351	\$121	\$25,745	\$65,096

Fuente: Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

## Análisis costo beneficio

Para el análisis costo beneficio se toman en cuenta los costos totales en los que incurrió la empresa de servicios de electricidad en la valorización de 500Kg de residuos de \$34,474.46, los beneficios que obtuvo de \$45,744.68 y la utilidad de \$11,270.22 y se comparan con los montos obtenidos por las alternativas.

La Tabla 27 indica los costos, beneficios y utilidad registrados por los centros de acopio, donde Centros de Reciclaje Recupera registra el monto más alto de utilidad con \$30,713.73, seguido por Recicla y Juega con \$25,246.69 y Santos Valdez con \$22,434.25; es decir, \$19,443.51, \$13,976.47 y \$11,164.03 más que el centro de acopio actual, respectivamente.

Tabla 27. Análisis costo beneficio de alternativas de centros de acopio

Centro de acopio	Costo total	Beneficio total	Utilidad	Diferencia
Santos Valdez	\$34,374.26	\$56,808.51	\$22,434.25	\$11,164.03
Recicla y Juega S.A. de C.V.	\$34,380.97	\$59,627.66	\$25,246.69	\$13,976.47
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	\$34,382.01	\$65,095.74	\$30,713.73	\$19,443.51

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021) y Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

### 3.3.3 Actuación de Agentes Logísticos

Las tres alternativas de centro de acopio identificadas en el apartado 3.3.2 Diseño de la red de transporte: Santos Valdez, Recicla y Juega y Centros de Reciclaje Recupera, son a su vez agentes logísticos, ya que cuentan con la opción de recolección de los residuos en la ZMVM y la capacidad de trasladar diferentes cantidades.

1. Santos Valdez. El procedimiento implica agendar una cita de recolección en el punto de origen, el agente logístico envía una unidad de acuerdo con las especificaciones de domicilio, tipo, cantidad y volumen de los residuos. Realizan el traslado a sus instalaciones en: División del Norte 2946, Colonia Atlántida, Coyoacán, Ciudad de México. Pesan los residuos en báscula certificada y generan un ticket con la información del peso de los residuos y el monto de la compra, mismo que se compartiría con la empresa de servicios de electricidad para que después se efectúe el pago mediante depósito bancario. La recolección de los residuos no tiene ningún costo asociado, y no tiene un mínimo de Kg para programar su valorización.
2. Recicla y Juega S.A. de C.V. El proceso de recolección es similar al del agente logístico Santos Valdez, con las únicas diferencias de ubicación de destino; sus instalaciones se encuentran en: Campesinos 399, Colonia Santa Isabel Industrial, Iztapalapa, C.P. 09820, Ciudad de México; y el método de pago que se realiza a partir de transferencia bancaria. La recolección no tiene costo, no obstante, el mínimo de Kg. para programarla es de 40.
3. Centros de Reciclaje Recupera S.A. de C.V. Misma base en el proceso de recolección, con las diferencias de que los residuos se trasladan a sus instalaciones de valorización en Guadalupe Tepeyac y se requiere que una persona acuda junto con la unidad, para validar el procedimiento de pesaje. La recolección no tiene costo y el mínimo de Kg. para programarla es de 60.

#### Costos

Considerando que un colaborador de la empresa de servicios de electricidad acuda para validar el procedimiento de pesaje en cada alternativa, el costo sería únicamente el combustible relacionado con la distancia del almacén temporal a cada centro de acopio y el sueldo del colaborador, ya que ninguna de las alternativas presenta costos de recolección.

La empresa de servicios de electricidad cuenta con motocicletas de 250cc que emplearía en la comitiva de la valorización de los residuos. El rendimiento de las unidades es de 24 KM/L; por lo que el consumo de combustible sería de 0.46 L en el centro Santos Valdez (11 Km de distancia), 0.59 L en Recicla y Juega (14.2 Km de distancia) y 1.08 L en Centros de Reciclaje Recupera, ya que la valorización se realizaría en Guadalupe Tepeyac, instalaciones a 25.9 Km de distancia del almacén temporal; por lo que el costo de combustible sería de \$10.09, \$13.02 y \$23.75, respectivamente.

Tabla 28. Costo de combustible de las alternativas de agentes logísticos

Agente Logístico	Distancia de ruta (Km)	Combustible (L)	Costo de combustible
Santos Valdez	11.0	0.46	\$10.09
Recicla y Juega S.A. de C.V.	14.2	0.59	\$13.02
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	25.9	1.08	\$23.75

Fuente: Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

En cuanto a los costos de personal de traslado, únicamente se emplearía a un colaborador para validar el proceso de pesaje. Tomando en cuenta el costo promedio del personal de \$52.43 por hora y un tiempo de tránsito de 15 minutos para Santos Valdez, 19 minutos para Recicla y Juega y 29 minutos para Centros de Reciclaje Recupera, el costo del personal de traslado sería de \$13.11, \$16.60 y \$25.34, respectivamente (sin considerar tiempos de descarga ni de pesaje).

Tabla 29. Costo de personal de traslado de las alternativas de agentes logísticos

Agente Logístico	Tiempo (min)	Costo de personal
Santos Valdez	15	\$ 13.11
Recicla y Juega S.A. de C.V.	19	\$ 16.60
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	29	\$ 25.34

Fuente: Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

El costo de envío (combustible y personal de traslado) en el centro de acopio Santos Valdez es de \$23.20, en Recicla y Juega es de \$29.63 y en Centros de Reciclaje Recupera es de \$49.09. Tomando en cuenta un costo de envío de \$332.98 en la situación actual de la empresa de servicios de electricidad, se podría registrar un ahorro de \$309.78 (93%), \$303.35 (91%) y de \$283.89 (85%), respectivamente.

Tabla 30. Costos de envío de alternativas de agentes logísticos

Agente Logístico	Costo de envío	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Santos Valdez	\$23.20	\$309.78	93%
Recicla y Juega S.A. de C.V.	\$29.63	\$303.35	91%
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	\$49.09	\$283.89	85%

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021) y Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

El cálculo de los costos totales se realiza a partir de los costos en el apartado 3.3.1 Gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo de \$34,474.46 y se resta la diferencia en el costo de envío de cada alternativa, dando como resultado \$34,374.26 para el centro de Acopio Santos Valdez, \$34,380.97 para Recicla y Juega y \$34,382.01 para Centros de Reciclaje Recupera.

Tabla 31. Costos totales de alternativas de agentes logísticos

Agente Logístico	Costo total
Santos Valdez	\$ 34,164.68
Recicla y Juega S.A. de C.V.	\$ 34,171.11
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	\$ 34,190.57

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021) y Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

### Beneficios

Se considera el mismo análisis de cálculo de beneficios totales realizado en el apartado 3.3.2 Diseño de la red de transporte, indicado en la Tabla 26, con un monto de \$56,809 para Santos Valdez, \$59,628 para Recicla y Juega y \$65,096 para Centro de Reciclaje Recupera.

### Análisis de costo beneficio

Para el análisis costo beneficio se toma en cuenta la utilidad que registró la empresa de servicios de electricidad en la valorización de 500Kg de residuos de \$11,270.22 y se compara con los montos obtenidos por las alternativas de agentes logísticos.

La Tabla 32 indica los costos, beneficios y utilidad registrados por los agentes logísticos, donde Centros de Reciclaje Recupera registra el monto más alto de utilidad con \$ 30,905.17, seguido por Recicla y Juega con \$ 25,456.55 y Santos Valdez con \$ 22,643.84; es decir, \$ 19,634.95, \$ 14,186.33 y \$ 11,373.62 más que en la situación actual, donde la empresa de servicios de electricidad realiza el traslado de los residuos.

Tabla 32. Análisis costo beneficio de alternativas de agentes logísticos

Agente Logístico	Costo total	Beneficio total	Utilidad	Diferencia
Santos Valdez	\$34,164.68	\$ 56,808.51	\$ 22,643.84	\$ 11,373.62
Recicla y Juega S.A. de C.V.	\$34,171.11	\$ 59,627.66	\$ 25,456.55	\$ 14,186.33
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	\$34,190.57	\$ 65,095.74	\$ 30,905.17	\$ 19,634.95

Fuente: Empresa de servicios de electricidad (2021) y Esfácilrecilar, reciclayjuegamx y Recupera (2022).

### 3.4 Análisis de balance de costo-beneficio

Una vez realizado el estudio de las OLA y las OLT de la empresa de servicios de electricidad, en la CSI que valoriza residuos metálicos, se identificaron las alternativas que promueven eficiencia logística en la valorización de los materiales.

En el almacenamiento temporal se analizaron alternativas en función de la estimación del espacio requerido a corto, mediano y largo plazo, tomando en cuenta el posible crecimiento en la generación de los residuos por parte de la empresa de servicios de electricidad, donde la alternativa 1: Adecuación de un espacio dentro de las instalaciones de la empresa, fue la que presentó una posibilidad de ahorro mayor en los tres escenarios analizados, al configurar un mejor aprovechamiento del espacio de almacenamiento, a diferencia de los procesos y espacios de la situación actual de la compañía.

Los costos de la alternativa 1 en el corto plazo son de \$9,248.19, en el mediano plazo de \$12,914.41 y en el largo plazo de \$15,865.83, mientras que los beneficios se calculan a partir de la valorización de la cantidad estimada de residuos de 179.40Kg, 284.36Kg y 372.47Kg, respectivamente.

Tomando en cuenta que el valor del beneficio por la valorización del cobre es el mismo para la situación actual y para la alternativa 1, únicamente se identifica la diferencia en los costos entre ambas opciones, dando como resultado una utilidad mayor para la alternativa 1 en \$3,454.28 a corto plazo (2022), \$2,535.91 a mediano plazo (2025) y \$1,961.93 a largo plazo (2027).

En cuanto al manejo de materiales se identificó un beneficio superior a la situación actual con la limpieza del cobre de 2ª, operación que agrega valor a los residuos en función de la diferencia entre los precios de compra entre el cobre de 1ª y el cobre de 2ª. En el análisis de la limpieza de 40Kg con una diferencia de \$13 entre ambas clasificaciones, se obtuvo una utilidad de \$200 superior a los procesos actuales de la empresa de servicios de electricidad.

A partir del análisis del aprovechamiento de la capacidad del vehículo, se determinó que si se aprovecha la capacidad total de 1.5 toneladas, se obtiene una diferencia a favor en la utilidad de \$656.77, en contraste con la realización de 3 servicios de 500Kg, cantidad que valoriza actualmente la empresa de servicios de electricidad.

La mayor diferencia a favor en la utilidad con respecto a los procesos que realiza la empresa de servicios de electricidad se encontró en el análisis del diseño de la red de transporte, con un total de \$19,443.51, contemplando la valorización de los residuos en el centro de acopio: Centros de Reciclaje Recupera, ya que, además de localizarse a 44.2 Km más cerca del almacén temporal, tiene precios de compra 37% más altos para el cobre de 1ª y 51% mayores para el cobre de 2ª, con respecto al centro de acopio actual.

La diferencia en la utilidad registrada en el diseño de la red de transporte se incrementó a partir del análisis de la actuación de agentes logísticos, ya que es posible reducir los costos de envío mediante la tercerización en el traslado de los

residuos con el mismo centro de acopio Recupera, creciendo a \$19,634.95 más que con los procesos actuales de la empresa de servicios de electricidad.

### Balance general

El balance general se configuró a partir de una estimación de valorización de 2,960.28 Kg. de cable con recubrimiento, equivalente a 1,433.13 Kg. de cable desnudo, acopiados en un periodo de 5 años, de 2023 a 2027.

Espacio de almacenamiento requerido de 2.8m<sup>2</sup> para el 2023, 3.1m<sup>2</sup> entre el 2024 y 2025 y 3.6m<sup>2</sup> entre el 2026 y 2027, considerando la cantidad estimada de generación de residuos<sup>41</sup>, que determina igualmente el costo total de construcción, servicios generales y mantenimiento y maquinaria y equipo, indicados en la Tabla 33 (alternativa 1)<sup>42</sup>.

Tabla 33. Costos de almacenamiento en balance general

Año	Construcción	Servicios generales y mantenimiento	Maquinaria y equipo	Costo total
2023	\$1,926.40	\$1,287.89	\$2,306.05	\$5,520.34
2024	\$206.40	\$1,425.88	\$2,759.07	\$4,391.35
2025	\$ 0	\$1,425.88	\$3,216.63	\$4,642.51
2026	\$344.00	\$1,655.86	\$3,674.19	\$5,674.05
2027	\$ 0	\$1,655.86	\$3,691.82	\$5,347.67

En cuanto al manejo de materiales se consideraron los costos de separación, clasificación y ruptura (mano de obra 1), empaquetado y etiquetado (mano de obra 2), así como los costos de limpieza de cobre de 2ª del 42.55% de los residuos, es decir, 601.37 Kg.

Tabla 34. Costos de manejo de materiales en balance general

Año	Mano de obra 1	Mano de obra 2	Limpieza	Costo total
2023	\$2,744.44	\$1,820.59	\$662.50	\$5,227.54
2024	\$3,176.73	\$2,107.36	\$766.86	\$6,050.95
2025	\$3,759.13	\$2,493.71	\$907.45	\$7,160.29
2026	\$4,341.54	\$2,880.06	\$1,048.04	\$8,269.64
2027	\$4,923.94	\$3,266.41	\$1,188.63	\$9,378.98

El aprovechamiento de la capacidad del vehículo y el diseño de la red de transporte no se incluyeron dentro del balance general, ya que se optó por la alternativa de agentes logísticos, donde la recolección la realiza el proveedor y los costos de envío comprenden al personal de traslado para validar el proceso de pesaje con un total de \$49.09.

<sup>41</sup> Véase Anexo 2.

<sup>42</sup> Véase anexo 3.

Los beneficios se calcularon a partir del precio de compra del cobre de 1ª para la alternativa 3 de centro de acopio de \$137 por Kg., considerando que el total de los 1,433.13 Kg entran dentro de la clasificación después del proceso de limpieza del cobre de 2ª. La Tabla 35 muestra el balance general con un costo total de \$61,663.31 y \$196,338.81 de beneficios, generando una posible relación de 3.18 a favor de los beneficios, contra la relación de la situación actual de 1.62.

Tabla 35. Balance general de costos y beneficios

Año	Costo de almacenamiento	Costo de manejo de materiales	Costo de envío	Costo total	Beneficio
2023	\$5,520.34	\$5,227.54	-	\$10,747.88	-
2024	\$4,391.35	\$6,050.95	-	\$10,442.30	-
2025	\$4,642.51	\$7,160.29	-	\$11,802.80	-
2026	\$5,674.05	\$8,269.64	-	\$13,943.69	-
2027	\$5,347.67	\$9,378.98	\$49.09	\$14,726.65	\$196,338.81
<b>Total</b>	<b>\$25,575.91</b>	<b>\$36,087.40</b>	<b>\$49.09</b>	<b>\$61,663.31</b>	<b>\$196,338.81</b>

A partir del análisis costo beneficio de las OLA y las OLT se identificaron las alternativas que suponen una utilidad mayor a la registrada con los procesos actuales que presenta la empresa de servicios de electricidad, incluyendo la delimitación de un espacio dentro de las instalaciones de la compañía que se adecúe a los requerimientos estimados de almacenamiento, la limpieza de cobre de 2ª para agregar valor a los residuos, el aprovechamiento de la capacidad de 1.5 toneladas del vehículo de transporte, la selección de un centro de acopio que cumple con los requerimientos de la empresa y brinda mayores beneficios en la valorización, así como la actuación de agentes logísticos en la tercerización del traslado de los residuos del almacén temporal al centro de acopio, determinando en una utilidad superior para cada opción con respecto a los procesos actuales de la empresa de 27.2%, 3.6%, 1.2%, 172.52% y 174.2%, respectivamente.

La caracterización dio la pauta para la identificación de vulnerabilidades, a partir de las cuales se establecieron alternativas que abrieron la posibilidad de configurar una guía enfocada en la eficiencia logística de la empresa de servicios de electricidad, con un potencial beneficio financiero superior a 1.56 con respecto a la relación actual de costo-beneficio que presenta la compañía, de gran relevancia en el proceso de valorización en un eslabón de CSI que valoriza residuos metálicos.

## **CAPÍTULO 4. Conclusiones**

El estudio de las operaciones logísticas de adquisición y transporte permite identificar vulnerabilidades en la CSI y a su vez encauzar la formulación de alternativas. La cuantificación de costos y beneficios, tanto de la situación actual como de las alternativas, permite promover mejoras logísticas en el proceso de valorización de los residuos.

El caso de estudio consiente que existen límites en la generalidad, principalmente en relación con los costos y beneficios asociados con la Logística Inversa, ya que, del marco metodológico, únicamente aplican para el caso de estudio los costos de desensamble y los beneficios por reproducción de materiales, aunado a los costos de envío que no se delimitaron en la propuesta de Ya-Ping.

La estrategia de investigación se configuró adecuadamente, ya que, para poder promover mejoras logísticas fue necesario conocer primeramente la situación actual de la empresa caso de estudio, de ello se derivaron las vulnerabilidades del proceso de logística inversa, con las cuales fue posible delimitar alternativas y más adelante analizarlas y compararlas a partir de la cuantificación de costos y beneficios, lo cual guio la selección de las opciones con mayores beneficios en el proceso de valorización de los residuos.

Incentivar la valorización de los residuos con potencial de reciclaje como los metales, requiere del análisis de las operaciones logísticas de adquisición y transporte, ya que es donde ocurre su valorización.

Analizar las operaciones logísticas de adquisición y transporte requiere de datos de las actividades que realiza la empresa caso de estudio. Si no se cuenta con datos históricos es necesario recabarlos a partir de diferentes medios, incluyendo visitas de campo, llamadas telefónicas, encuestas y cuestionarios. Siendo trascendental la configuración de una estrategia que esté alineada con el alcance y los temas del proyecto, que cuente con fechas definidas y el medio por el cual se van a recabar los datos.

El estudio de la operación logística de almacenamiento temporal permite conocer los requerimientos de espacio en función del acopio de los residuos, e identificar alternativas que cumplan con los mismos, teniendo la oportunidad de realizar estimaciones e incentivar la eficiencia del espacio, el costo y el tiempo de almacenamiento.

La caracterización de la operación de manejo de materiales otorga conocimientos importantes sobre las actividades que aumentan o no el valor de los residuos. Por lo que funge como guía para enfocarse en los procesos de valor agregado, no sólo en la búsqueda de alternativas, sino también al momento de decidir si es más factible llevarla a cabo internamente o buscar su tercerización.

El análisis de la gestión para el aprovechamiento de la capacidad del vehículo concede información relevante sobre la eficiencia en la utilización de los vehículos con respecto a su capacidad y la cantidad de carga por viaje, motivando a analizar

igualmente el tiempo de almacenamiento, la capacidad del almacén y la cantidad de generación de los residuos, por lo que es posible plantear diferentes configuraciones que den pauta a una eficiencia no sólo en su traslado sino también en su almacenamiento.

El estudio de la red de transporte es preponderante aun cuando se trate de dos nodos, ya que el destino de los residuos impacta considerablemente en el beneficio que se obtiene de la venta, además de influir en los costos de transporte dependiendo de la distancia con respecto del origen y la cantidad de viajes que se realicen, dependiendo de la configuración entre el tiempo de acopio, la capacidad del almacén y la cantidad de generación de residuos. La definición del centro de acopio es de gran relevancia, ya que puede representar la posibilidad de valorizar no sólo los residuos que se analizan, sino también otras categorías que se vinculan al agente generador o adquirente, motivando la valorización de diferentes tipos de residuo.

El que un centro de acopio esté registrado ante la SEDEMA no significa que cuenta con las certificaciones para operar, por lo que es necesario validar que ha tramitado el permiso RAMIR para asegurar que realiza los procesos aprobados por la SEDEMA para la adecuada gestión de los residuos.

El análisis de la actuación de agentes logísticos representa una de las operaciones logísticas más importantes en el mercado del reciclaje, ya que hay diversas opciones que brindan el servicio de recolección sin representar un costo para el agente generador o adquirente, por lo que es posible encauzar una serie de eficiencias logísticas con impacto en múltiples operaciones, ya que la programación de recolecciones periódicas podría estandarizar procesos en el manejo de materiales, almacenamiento y transporte de los residuos, generando al mismo tiempo ahorros importantes en materia financiera.

Si bien, las OLA y OLT concentran gran parte de los procesos de logística inversa, no contemplan el empaque de los residuos, sin embargo, su estudio es de relevancia ya que influye tanto en el aprovechamiento del espacio en el almacén temporal como en el vehículo al momento de su adquisición y transporte al centro de acopio. La configuración del empaque puede tener un impacto negativo o positivo en la valorización de los residuos, por lo que es inherente su análisis en el proceso de logística inversa.

Tomando en cuenta el análisis costo beneficio del caso de estudio, los beneficios obtenidos en la valorización del cobre son mayores que los costos de las OLA y OLT implicadas en la CSI que valoriza metales no ferrosos, por lo que es más rentable la valorización de los residuos que su envío a SDF, donde no sólo no se obtiene ningún beneficio, sino que deriva en externalidades negativas para el medio ambiente.

El proceso de caracterización de OLA y OLT y la identificación de áreas de oportunidades logísticas puede ser contemplado como un referente para compañías con características similares a la empresa caso de estudio, que busquen impulsar mejoras dentro de la CSI, a fin de promover el incremento en el

porcentaje del aprovechamiento de los residuos y la reducción de las cantidades destinadas a SDF en la CDMX.

El proyecto de investigación si bien está encauzado en un caso de estudio y presenta particularidades de su proceso de logística inversa, contempla cuatro etapas principales que pueden fungir como guía y ejemplo para empresas de servicios de electricidad: la caracterización de OLA y OLT que determinan la situación actual; es decir, la naturaleza de los residuos, los procesos en los que incurre la empresa para su valorización, los agentes que intervienen y los canales de distribución; lo cual abre paso a la identificación de vulnerabilidades logísticas, la promoción de alternativas y el análisis costo beneficio. A su vez es posible emplear la misma estrategia para la selección de centro de acopio: de las opciones registradas ante la SEDEMA, identificar cuáles son las más cercanas al almacén temporal, descartar las que no cuenten con permiso RAMIR y comparar el resto en función de los precios de compra del cobre, preponderando aquellas opciones que recolecten los residuos sin costo adicional, al representar mayores beneficios en el proceso de valorización.

Caracterizar las operaciones logísticas de adquisición y transporte brinda un panorama amplio de las actividades implicadas en la valorización de los residuos, lo cual posibilita el conocimiento de costos y beneficios, tanto de la configuración actual como de las alternativas, por lo que abre paso a un análisis costo-beneficio que trae consigo opciones que representan no sólo la posibilidad de obtener una mayor utilidad, sino también propuestas de eficiencia logística con un potencial impacto positivo en la valorización de los residuos y en la operación de la CSI, derivando en externalidades positivas en el medio ambiente, incluyendo la extensión del ciclo de vida de los residuos y la disminución de la cantidad destinada a SDF.

Proyectos futuros pueden estar orientados a la comparación con otros casos de estudio, ya que al contar con varios análisis se podría concluir el beneficio de la logística inversa, además de buscar estandarizar un proceso con etapas definidas que puedan emplearse para el estudio costo beneficio de otras empresas.

## Referencias

Agrawal, S., Singh, R.K. and Murtaza, Q. (2015) A Literature Review and Perspectives in Reverse Logistics. Resources, Conservation and Recycling, 97, 76-92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.009>.

Alveo, "Caja de plástico Walter cerrada 71 x 39.5 x 32 cm", disponible en: [Caja de Plastico Walter Cerrada 71 x 39.5 x 32 cm | Alveo Trafiplastic](#), fecha de consulta: 20 de octubre de 2022.

ANCE, "Sistemas de Gestión de la Energía (ISO-50001)", disponible en: <https://www.ance.org.mx /Ance/es/sectores/energ%C3%ADa/>, fecha de consulta: 02 de febrero de 2021.

Andel, T. (1997). Reverse Logistics: a second chance of profit: whether through refurbishment or recycling, companies are finding profit in returned products. Transportation & Distribution, Vol. 38, No. 7.

Carter, C. R., & Ellram, L. M. (1998). Reverse Logistics: A Review of the Literature and Framework for Future Investigation. Journal of Business Logistics, 19(1), 85–102.

Chen, Ya-Ping (2012). Cost and Benefit Analysis of Reverse Logistics. Second International Conference on Business Computing and Global Informatization. Shanghai, China, Agosto 2012. DOI 10.1109/BCGIN.2012.26. pp. 75-77.

Código Penal Ciudad de México, "Artículo 346", Disponible en: [https://leyes-mx.com/codigo\\_penal\\_ciudad\\_de\\_mexico/346.htm](https://leyes-mx.com/codigo_penal_ciudad_de_mexico/346.htm), fecha de consulta: 24 de octubre de 2021.

Council of Logistics Management (CLM) (1999), 1999 Membership Roster, Bylaws, Article I, Council of Logistics Management, Oak Brook, IL, p. 506.

De Brito, M. P. (2002). Reverse Logistics: a review of case studies. Science, (1998), 1–32. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17020-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17020-1_13).

Desguace, "6 consejos para que reducir el gasto de gasolina en tu vehículo", disponible en: [6 consejos para que reducir el gasto de gasolina en tu vehículo \(desquacesn430.com\)](#), fecha de consulta: 06 de noviembre de 2022.

DOF, "Ley General para la Prevención y Gestión de los Residuos" (2003), disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lqpgir/LGPGIR\\_orig\\_08oct03.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lqpgir/LGPGIR_orig_08oct03.pdf), fecha de consulta 22 de enero de 2021.

DOF, "NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005" (2006), disponible en: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>, fecha de consulta: 22 de enero de 2021.

DOF, "Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011" (2013), disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013), fecha de consulta: 22 de enero de 2021.

Electrotec, “El AWG (American Wire Gauge)”, disponible en: <https://electrotec.pe/blog/CAWG>, fecha de consulta: 27 de noviembre de 2021.

EME, “Electricidad, Carrera técnica”, disponible en: <https://eme.mx/escuela/cursos-de-electricidad/carrera-tecnica-de-electricidad/>, fecha de consulta: 02 de febrero de 2021.

Es fácil reciclar, “Contáctanos”, disponible en: [Es Fácil Reciclar | Centro de reciclaje en Coyoacán, Ciudad de México. \(esfacilreciclar.com\)](https://esfacilreciclar.com), fecha de consulta: 20 de agosto de 2022.

Fayez, Mohamed (2005), “An Automated Methodology For a Comprehensive Definition Of The Supply Chain Using Generic Ontological Components”, disponible en: <https://stars.library.ucf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1314&context=etd>, fecha de consulta: 11 de junio de 2021.

Ferros Planes, “Proceso de galvanizado: ¿qué es y qué ventajas tiene?”, disponible en: <https://ferrosplanes.com/proceso-galvanizado-ventajas/>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

Foremex, “Servicios”, disponible en: <https://foremex.com.mx/materiales.html>, fecha de consulta: 04 de diciembre de 2020.

Gaceta Oficial del Distrito Federal, “Norma Ambiental NADF-024-AMBT 2013 sobre Separación, Clasificación, Recolección Selectiva y Almacenamiento de los Residuos del Distrito Federal” (2015), disponible en: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/NADF-024-AMBT-2013.pdf>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

Gasolinamx, “Precio México”, disponible en: [GASOLINA HOY - Precio en México \(gasolinamx.com\)](https://gasolinamx.com), fecha de consulta: 06 de noviembre de 2022.

Gelman, O., & Negroe, G. (1982). La planeación como proceso básico de la conducción. *Revista de La Académica Nacional de Ingeniería*, 253– 270.

Georgiadis, P., & Vlachos, D. (2004). The effect of environmental parameters on product recovery. *European Journal of Operational Research*, 157(2), 449–464.

Giuntini, R. y Andel, T. (1995). Advance with Reverse Logistics. *Transportation & Distribution*, Vol. 36, n. 2.

Gómez-Maturano, J., & Sánchez-Lara, B. (2018). Procedimiento para caracterizar Cadenas de Suministro Inversas que valorizan Residuos Sólidos Urbanos. *Memorias Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG2018)*, Ciudad de México, Octubre 10-12. ISBN 978-607-96403-1-6. pp. 61-70.

Guide, V. D. R., Jayaraman, V., & Linton, J. D. (2003). Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery. *Journal of Operations Management*, 21(3), 259–279.

Gutiérrez, Quim, “Las 9 R de la Economía Circular” (2022), disponible en: [Las 9 R de la Economía Circular Sostenibilidad \(sostenibleosustentable.com\)](https://sostenibleosustentable.com), fecha de consulta: 05 de enero de 2023.

Haller, Erika Pamela, “Logística inversa: el medio ambiente y las cadenas de suministro de ciclo cerrado” (2010), disponible en: [http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-0439\\_HallerEP.pdf](http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-0439_HallerEP.pdf), fecha de consulta: 27 de abril de 2021.

Hernández, Hernán, “Usos, propiedades y aplicaciones del cobre”, disponible en: <https://electrica.mx/ usos-propiedades-y-aplicaciones-del-cobre/>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

Ilgin, M. A., & Gupta, S. M. (2013). Reverse Logistics. In S. M. Gupta (Ed.), REVERSE SUPPLY CHAINS: I S S U E S A N D A N A L Y S I S (p. 401). New York: Taylor & Francis Group.

INEGI, “México en Cifras” (2020), disponible en: [México en cifras \(inegi.org.mx\)](https://inegi.org.mx), fecha de consulta 03 de junio de 2023.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2007), “Ciclo de los residuos sólidos”, disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/105/l.html#:~:text=En%20la%20actualidad%20en%20la,Tlalpan%2C%20Venustiano%20Carranza%20y%20Xochimilco>, fecha de consulta: 01 de febrero de 2021.

Kinobe, J. R., Gebresenbet, G. & Vinnerås, B. (2012). Reverse logistics related to waste management with an emphasis on developing countries - A review paper. Journal of Environmental Science and Engineering B, 1, 1104-1118.

Lyles, M. A. and Mitroff, I. I. Organizational problem formulation: an empirical study. Administrative Science Quarterly, 1980, 25, pp. 102-119.

Mar-Ortiz, Julio; García, María, “Logística Inversa: Prácticas actuales, tendencias futuras y oportunidades de investigación” (2014), disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5235933>, fecha de consulta: 27 de abril de 2021.

McCutcheon, D. M., & Meredith, J. R. (1993). Conducting case study research in operations management. Journal of Operations Management, 11(3), 239–256. [https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/0272-6963\(93\)90002-7](https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/0272-6963(93)90002-7).

Mercado libre, “Cables eléctricos”, disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-902912798-cable-thw-lsthwh-ls-ce-rohs-8-awg-en-caja-color-rojo- JM#position=6&search\\_layout=grid&type=item&tracking\\_id=6442cfb9-d116-41be-a077-a3ac21af0302](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-902912798-cable-thw-lsthwh-ls-ce-rohs-8-awg-en-caja-color-rojo- JM#position=6&search_layout=grid&type=item&tracking_id=6442cfb9-d116-41be-a077-a3ac21af0302), fecha de consulta: 25 de noviembre de 2021.

Mercadolibre, “Maquina pelador cable 1-30mm Máquina de pelar Cables manual”, disponible en : [Máquina Pelador Cable 1-30mm Máquina De Pelar Cables Manual | Meses sin intereses \(mercadolibre.com.mx\)](https://www.mercadolibre.com.mx/Maquina-Pelador-Cable-1-30mm-Maquina-De-Pelar-Cables-Manual-Meses-sin-intereses), fecha de consulta: 22 de octubre de 2022.

Multibodegas, “Promociones”, disponible en: <https://multibodegas.com.mx/>, fecha de consulta: 13 de marzo de 2022.

Nakashima, K., & Gupta, S. M. (2013). Modeling Supplier Selection in Reverse Supply Chains (p. 401). In S. M. Gupta (Ed.), Reverse Supply Chain: Issues and analysis. New York, USA: Taylor & Francis Group.

Noegasystems, “Como calcular los costos de almacenaje o costes de un almacén”, disponible en: [Cómo calcular los costes de almacenaje o costes de un almacén \(noegasystems.com\)](https://noegasystems.com/), fecha de consulta 22 de octubre de 2022.

Ojeda, Benitez, Sara, et All (2018), “Los Residuos Sólidos como fuente de materiales y energía”, disponible en: <file:///C:/Users/Genesis/Downloads/EncuentroExpertos9-pages-1-2253-261.pdf>, fecha de consulta: 01 de febrero de 2021.

Panel y acanalados Monterrey, “¿Qué es el acero galvanizado? Conoce los tipos, usos y ventajas a continuación”, disponible en: [Acero galvanizado; Tipos, usos y ventajas | Panel y Acanalados](#), fecha de consulta: 18 de agosto de 2022.

Prahinski, C., & Kocabasoglu, C. (2006). Empirical research opportunities in reverse supply chains. Omega, 34(6), 519–532. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.01.003>.

Quimica, “Hierro”, disponible en: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Hierro.html>, fecha de consulta: 25 de noviembre de 2021.

Reciclayjuegamx, “Nuestras ubicaciones”, disponible en: [Recicla y juega \(reciclayjuegamx.com\)](https://reciclayjuegamx.com/), fecha de consulta: 20 de agosto de 2022.

Recupera, “Nuestros centros de reciclaje”, disponible en: [Nuestros Centros de Reciclaje Recupera®, ubicación geográfica, haciendo más fácil el reciclaje \(recuperamexico.com\)](https://recuperamexico.com/), fecha de consulta: 20 de agosto de 2022.

Reliance Foundry, “Introducción a los Materiales : Metales Ferrosos y No Ferrosos”, disponible en: <https://www.reliance-foundry.com/blog/metales-ferrosos-no-ferrosos-es#ref>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

Rogers, D. & Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. Journal of Business Logistics, Vol. 22, n.2.

Rogers, D., & Tibben-Lembke, R. (1998). Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Reverse Logistics Executive Council, Reno, NV: University of Nevada.

S. Dowlatshahi. A cost-benefit analysis for the design and implementation of reverse-logistics systems: case studies approach. International Journal of Production Research Vol. 48, No. 5, 1 March 2010, 1361–1380.

Sabcables, “Construcciones de conductores americanas tabla de AWG”, disponible en: <https://www.sab-cables.eu/productos/datos-tecnicos/cables-electricos/construccionesdevenasamericanas.html>, fecha de consulta: 27 de noviembre de 2021.

Sánchez-Lara, B. (2019). Operaciones Logísticas de Transporte, FI-UNAM, Departamento de Ingeniería de Sistemas, Serie 1-Número 2.

Secretaría de Energía, “EcoXpert para hogares y pequeñas empresas”, disponible en: <https://www.se.com.mx/es/partners/ecoxpert/discover/certifications-and-specializations/ecoxpert-home-and-small-business.jsp>, fecha de consulta: 02 de febrero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2010” (2011), disponible en: [https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS\\_2010.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS_2010.pdf), fecha de consulta: 22 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2011” (2012), disponible en: [https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS\\_2011.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS_2011.pdf), fecha de consulta: 22 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2012” (2013), disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2012/inventario-residuos-solidos-2012.pdf>, fecha de consulta: 23 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2013” (2014), disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2013/IRS-2013-Final-24-10-14-optimizado.pdf>, fecha de consulta: 23 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2014” (2015), disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2014/IRS-2014.pdf>, fecha de consulta: 24 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2015” (2016), disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2015-14-dic-2016.compressed.pdf>, fecha de consulta: 24 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2016” (2017), disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2016.pdf>, fecha de consulta: 25 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2017” (2018), disponible en: [https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS\\_2017\\_FINAL\\_BAJA.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS_2017_FINAL_BAJA.pdf), fecha de consulta: 25 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2018” (2019), disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2018-VF-09-09-2019.pdf>, fecha de consulta: 26 de enero de 2021.

Secretaría del Medio Ambiente, “inventario de Residuos Sólidos 2019” (2020), disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/inventarioderesiduosolidos-ciudaddemexico-2019.pdf>, fecha de consulta: 27 de enero de 2021.

SEDEMA, “Infraestructura para el manejo de residuos sólidos” (2014), disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2014/3-Capitulo2.pdf>, fecha de consulta: 01 de febrero de 2021.

SEDEMA, “Registro y Autorización de Establecimientos Mercantiles, de servicios y/o unidades de transporte relacionados con el manejo integral de residuos sólidos urbanos y/o de manejo especial de competencia local que operen y transiten en la CDMX (RAMIR)”, disponible en: [RAMIR \(cdmx.gob.mx\)](https://www.ramir.cdmx.gob.mx), fecha de consulta 13 de agosto de 2022.

SEMARNAT, “Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México 2010”, disponible en: [directorio\\_residuos.pdf \(semarnat.gob.mx\)](https://www.semarnat.gob.mx/directorio_residuos.pdf), fecha de consulta: 10 de agosto de 2022.

SEMARNAT, “Informe de la Situación del Medio Ambiente en México” (2016), disponible en: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap7\\_Residuos.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap7_Residuos.pdf), fecha de consulta: 19 de febrero de 2021.

Sistemastei, “Certificación en seguridad”, disponible en: <http://www.sistemastei.com.mx/consultoria/>, fecha de consulta: 02 de febrero de 2021.

Stock & Lambert (2001). Strategic Logistics Management. 4th Edition, McGraw Hill, New York.

Stock, James R. Development and Implementation of Reverse Logistics Programs, Council of Logistics Management, Oak Brook, IL, 1998.

Supraciclaje, “Chatarra cobre”, disponible en: <https://www.supraciclaje.com/compreion-los-grados-chatarra-cobre-tipos/>, fecha de consulta: 15 de enero de 2021.

Tecno Group, “Precios unitarios”, disponible en: <https:// analisisdepreciosunitarios.com/losa-de-concreto-8919>, fecha de consulta: 29 de noviembre de 2021.

The Logistics World, “Recuperación de valor: la logística inversa”, disponible en: <https://thelogisticsworld.com/historico/recuperacion-de-valor-la-logistica-inversa/>, fecha de consulta: 27 de abril de 2021.

Truper, “Catálogo 2021”, disponible en: <https://www.truper.com/CatVigente/buscador.php?pagina=2&palabra=ENGRAPADORA%20DE%20PARED&limitInf=0>, fecha de consulta: 25 de noviembre de 2021.

UAM, “La observación sistémica”, disponible en: [OBSERVACION \(unid.edu.mx\)](https://www.unid.edu.mx/OBSERVACION), fecha de consulta: 16 de agosto de 2022.

Ullca, Jose, “Los rellenos sanitarios” (2006), disponible en: [https://www.redalyc.org/pdf/4760/47604738\\_8001.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/4760/47604738_8001.pdf), fecha de consulta: 04 de mayo de 2021.

U-Storage, “Servicios”, disponible en: <https://u-storage.com.mx/servicios/>, fecha de consulta: 13 de marzo de 2022.

Wang, J.-J., Chen, H., Rogers, D. S., Ellram, L. M., & Grawe, S. J. (2017). A bibliometric analysis of reverse logistics research (1992-2015) and opportunities for future research. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PHYSICAL DISTRIBUTION & LOGISTICS MANAGEMENT*, 47(8), 666–687. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1108/IJPDLM-10-2016-0299>.

## Anexo 1. Estimación de espacio de almacenamiento

Total de cajas	Cajas (alto)	Cajas (ancho)	Cajas (largo)	Dimensiones en cm	Espacio mínimo requerido en cm	Espacio requerido en m <sup>2</sup>	Espacio requerido en m <sup>3</sup>	Cobre sin recubrimiento (Kg.)	Cobre con recubrimiento (Kg.)
1	1	1	1	35x35x70	45x75x80	0.6	0.3	50	25
2	2	1	1	70x35x70	90x75x80	0.6	0.5	100	50
3	3	1	1	105x35x70	135x75x80	0.6	0.8	150	75
4	4	1	1	140x35x70	180x75x80	0.6	1.1	200	100
8	4	2	1	140x70x70	180x110x80	0.9	1.6	400	200
16	4	2	2	140x70x140	180x110x150	1.7	3.0	800	400
24	4	3	2	140x105x140	180x145x150	2.2	3.9	1200	600
32	4	4	2	140x140x140	180x180x150	2.7	4.9	1600	800
32	4	4	2	140x140x140	180x180x150	2.7	4.9	1600	800
40	4	5	2	140x175x140	180x215x150	3.2	5.8	2000	1000
48	4	4	3	140x140x210	180x180x220	4.0	7.1	2400	1200
60	4	5	3	140x175x210	180x215x220	4.7	8.5	3000	1500

## Anexo 2. Estimación en la generación de cobre y espacio requerido

Año	Cobre sin recubrimiento (Kg)	Cajas requeridas	Espacio requerido (m2)	Cobre con recubrimiento (Kg)	Cajas requeridas	Espacio total requerido (m2)
2021	155.00	3	0.6	320.17	13	1.7
2022	179.40	4	0.6	370.57	15	1.7
2023	207.60	4	0.9	428.82	17	2.2
2024	240.30	5	0.9	496.36	20	2.2
2025	284.36	6	0.9	587.36	23	2.2
2026	328.41	7	0.9	678.36	27	2.7
2027	372.47	7	0.9	769.37	31	2.7
2028	440.75	9	1.70	910.42	36	3.2
2029	486.27	10	1.70	1,004.45	40	4
2030	577.32	12	1.70	1,192.52	48	4

### Anexo 3. Costos unitarios

Concepto	Costo	Unidad de medida
Construcción	\$ 688.00	M <sup>2</sup>
Cajas de almacenamiento	\$ 439.94	Pieza
Maquina desforradora	\$ 463.25	Pieza
Costal	\$ 20.00	Pieza
Servicios generales y mantenimiento	\$ 38.33	M <sup>2</sup> (mensual)
Separación, clasificación y ruptura	\$ 6.40	Kg
Empaquetado y etiquetado	\$ 153.47	Hora (17.5 Kg. procesados)
Combustible	\$ 22.01	Litro
Personal de trabajo	\$ 52.43	Promedio por hora

## Anexo 4. Dirección de alternativas de Centro de Acopio

Centro de Acopio	Dirección
Depósito San Juan	H. Escuela Naval Militar 332, Colonia San Francisco Culhuacán, Coyoacán
Depósito San Lorenzo	Avenida Tláhuac 5139, Colonia San Lorenzo Tezonco, Iztapalapa
Recicladora San Juan	Avenida Taxqueña 1976, Colonia San Francisco Culhuacán, Coyoacán
Reciclaje Pacífico	Avenida Pacífico 364 esq. Montserrat, Colonia El Rosedal Coyoacán
Santos Valdez	División del Norte 2946, Colonia Atlántida, Coyoacán
Alcamare S. de R.L. de C.V.	Carta roja núm. 871, Colonia Cerro de la Estrella, Iztapalapa
Reciclados industriales	Cuauhtémoc 160, Colonia Del Carmen, Coyoacán
Recicla y Juega S.A. de C.V.	Colonia Santa Isabel Industrial, Iztapalapa
Centros de Reciclaje Recupera S. A. de C. V.	Glorieta av. Universidad y Miguel Ángel de Quevedo
Recicla Ortiz	Filipinas esq. Río Churubusco, Portales Sur, Benito Juárez